



**Titre:** Stratégie de gestion des retours des conteneurs maritimes de l'Internet physique  
Title: l'Internet physique

**Auteur:** Shahrzad Alijani  
Author:

**Date:** 2016

**Type:** Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

**Référence:** Alijani, S. (2016). Stratégie de gestion des retours des conteneurs maritimes de l'Internet physique [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal].  
Citation: PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/2102/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**  
Open Access document in PolyPublie

**URL de PolyPublie:** <https://publications.polymtl.ca/2102/>  
PolyPublie URL:

**Directeurs de recherche:** Diane Riopel  
Advisors:

**Programme:** Maîtrise recherche en génie industriel  
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

STRATÉGIE DE GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS MARITIMES DE  
L'INTERNET PHYSIQUE

SHAHRZAD ALIAJANI

DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL  
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES  
(GÉNIE INDUSTRIEL)

AVRIL 2016

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

STRATÉGIE DE GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS MARITIMES DE  
L'INTERNET PHYSIQUE

présenté par : ALIJANI Shahrzad

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. FRAYRET Jean Marc, Ph. D., président

Mme RIOPEL Diane, Doctorat, membre et directrice de recherche

Mme MARCOTTE Suzanne, Ph. D., membre

## DÉDICACE

*À ma famille.*

## REMERCIEMENTS

Je désire, dans un premier temps, exprimer ma sincère et profonde gratitude à ma directrice de recherche, Madame Diane Riopel, pour son encadrement remarquable tout au long de ce projet. J'aimerais la remercier pour ses précieux conseils et son implication totale dans le projet tout au long de ces deux années. Je suis grandement reconnaissante pour son soutien moral continu.

Je voudrais aussi exprimer ma gratitude envers tous mes professeurs de l'École Polytechnique de Montréal et j'espère que l'aboutissement de ce rapport récompense une partie de leur travail.

Je tiens enfin à remercier mon mari, pour son soutien moral et pour sa patience pendant toute la période de mes études.

Merci à tous.

## RÉSUMÉ

Le repositionnement des conteneurs vides est un sujet important dans le commerce de conteneurisation maritime. Même s'il est une opération sans revenu et coûteuse, il est une partie importante d'un système global de transport efficace qui équilibre la demande et l'offre de conteneurs vides entre les régions. En principe, les contenants vides sont repositionnés à deux niveaux : niveau global et niveau régional.

De plus, une nouvelle proposition d'organisation dans les domaines de la manutention et du transport est l'Internet Physique (IP). Dans ce nouveau concept, des objets physiques sont encapsulés dans des conteneurs appelés  $\pi$ -conteneurs. Un des aspects importants qui devraient être considérés dans le réseau logistique de l'IP est la gestion des retours de ces conteneurs réutilisables.

L'objectif de cette recherche est de proposer une organisation de la gestion des retours des conteneurs maritimes et d'examiner comment elle peut être appliquée à des  $\pi$ -conteneurs. Pour accomplir cet objectif, la littérature est analysée pour déterminer l'impact de la recherche, les conditions de décision, les avantages et les inconvénients de chaque stratégie et identifier les meilleures pratiques dans le réseau de logistique inverse. Ensuite, différents scénarios sont présentés et simulés. Enfin, les résultats et la discussion sont présentés pour proposer une organisation de retour. La recherche finit par une recommandation pour des travaux futurs.

**Mots Clés :** Internet Physique, Logistique inverse, Conteneurs maritimes, Gestion, Retours

## ABSTRACT

Empty container repositioning is one of the longstanding and ongoing issues in the containerized maritime trade. Although it is a non-revenue and costly operation, it is an important part of an overall efficient global transportation system, which balances demand and supply of empty containers between regions. Normally empty containers are repositioned at two levels: global level and regional level.

In addition, the Physical Internet (IP) is a new proposal of organization in the handling and transportation areas. In this new concept, physical objects are encapsulated in containers called  $\pi$ -containers. An important aspect that should be considered in the IP network logistics is the management of return of these reusable containers.

The objective of this research is to propose an organization of container returns management and examine how it can be applied to  $\pi$ -containers. To accomplish this object, the literature is studied to determine the impact of the research, the conditions of decision, the advantages and disadvantages of each strategy and to identify the list of successes and best practices in reverse logistics network. Then, different scenarios are presented and simulated. Finally, the results and discussions are presented to provide a return organization. The research finishes with the recommendation for the future researches.

**Keywords:** Physical Internet, Reverse Logistics, Maritime containers, Management, Returns

## TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE .....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
RÉSUMÉ .....	V
ABSTRACT .....	VI
TABLE DES MATIÈRES .....	VII
LISTE DES TABLEAUX .....	X
LISTE DES FIGURES .....	XI
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	XII
LISTE DES ANNEXES .....	XIII
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE .....	5
2.1 Introduction .....	5
2.2 Niveaux de repositionnement .....	5
2.2.1 Repositionnement global .....	5
2.2.2 Repositionnement régional .....	5
2.3 Niveaux de planification .....	10
2.3.1 Planification stratégique .....	10
2.3.2 Planification tactique .....	10
2.3.3 Planification opérationnelle .....	10
2.4 Questions de modélisation.....	11
2.4.1 Paramètres stochastiques .....	11
2.4.2 Horizon de planification .....	11



2.5	Décisions de planification stratégique au niveau global .....	12
2.6	Décisions de planification tactique au niveau global .....	13
2.7	Décisions de planification opérationnelle au niveau global .....	14
2.8	Décisions de planification stratégique au niveau régional .....	14
2.9	Décisions de planification tactique au niveau régional .....	16
2.10	Décisions de planification opérationnelle au niveau régional .....	17
2.11	Conclusion .....	18
CHAPITRE 3 MODÈLES ET MÉTHODOLOGIE .....		22
3.1	Introduction .....	22
3.2	Objectif des modèles .....	22
3.3	Hypothèses des modèles.....	22
3.4	Paramètres des modèles.....	24
3.5	Indicateurs de performance .....	24
3.6	Régions d'étude .....	25
3.7	Données .....	26
3.8	Scénarios.....	28
3.8.1	Scénario 1 .....	28
3.8.2	Scénario 2 .....	29
3.9	Validation et plan d'expériences.....	31
3.10	Conclusion .....	32
CHAPITRE 4 ANALYSE ET RÉSULTATS.....		33
4.1	Introduction .....	33
4.2	Analyse.....	33
4.3	Résultats .....	34

4.4	Conclusion .....	36
CHAPITRE 5	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS .....	37
	Recommandations pour des travaux futurs .....	38
BIBLIOGRAPHIE	.....	40
ANNEXES	.....	43

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs .....	8
Tableau 2.2 : Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs (suite et fin) .....	9
Tableau 3.1 : Volumes d'importation et d'exportation au PONYNJ (1997-2007).....	26
Tableau 3.2 : Distances entre différents nœuds du réseau .....	27
Tableau 3.3 : Coûts logistiques .....	27
Tableau 4.1 : Résultats de simulation pour le repositionnement des conteneurs vides.....	34

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Modularité des $\pi$ -conteneurs unitaires et composants (Montreuil, 2011) .....	1
Figure 1.2 : Retour de conteneurs vides (traduction libre de l’auteur (Goldsby et Closs, 2000), p.6) .....	2
Figure 1.3 : Différentes étapes de suivi de notre recherche .....	4
Figure 2.1 : Schéma de synthèse des quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides	6
Figure 2.2 : Gestion des conteneurs vides au niveau global .....	19
Figure 2.3 : Gestion des conteneurs vides au niveau régional .....	20
Figure 3.1 : Régions d’étude ((Mittal, 2008), p.46) .....	25
Figure 3.2 : Scénario 1 - système de retour des conteneurs.....	28
Figure 3.3 : Diagramme de flux du scénario 1 .....	29
Figure 3.4 : Scénario 2 - système de retour des conteneurs avec la stratégie « street turn ».....	30
Figure 3.5 : Diagramme de flux du scénario 2.....	31
Figure 4.1 : Détermination de capacités des dépôts pour les scénarios 1 et 2 .....	32
Figure 4.2 : Nombre de conteneurs envoyés par les importateurs pour le dépôt 1 .....	35
Figure 4.3 : Nombre de conteneurs demandés par les exportateurs pour le dépôt 1 .....	35

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

IP	Internet Physique
NJ	New Jersey
NW	New York
PONYNJ	Port de New York/New Jersey

## **LISTE DES ANNEXES**

ANNEXE A - PRINCIPAUX ARTICLES SUR LA GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS .....	43
ANNEXE B - FIGURES DES DIAGRAMMES DE SIMULATION DANS ARENA .....	45

## CHAPITRE 1 INTRODUCTION

L'utilisation de conteneurs pour le transport de fret nécessite quelques décisions de planification telles que le dimensionnement et la gestion de la flotte, les décisions relatives à la propriété ou la location de conteneurs ainsi que le repositionnement des conteneurs vides (Dejax et Crainic, 1987). Pour réduire les déséquilibres du commerce mondial, on devrait considérer le repositionnement de conteneurs vides premièrement entre des ports de mer et deuxièmement à un niveau régional, entre des importations, des exportations, des dépôts intérieurs et des ports intérieurs (Boile et al., 2008). D'après l'estimation de « Drewry Shipping Consultants of London », 20 % des mouvements des conteneurs maritimes sont le repositionnement des conteneurs vides (Boile et al., 2006). En parallèle, l'estimation du transport terrestre de conteneurs vides est 40 % à 50 % (Branch, 2006; Crainic et al., 1993; Konings et Thijs, 2001). Donc en minimisant le repositionnement des conteneurs vides, nous réaliserons non seulement un coût inférieur d'exploitation, mais aussi une réduction des embouteillages et de la pollution de l'air. Cette réduction des coûts devrait se produire tout en respectant la demande des conteneurs vides (Braekers et al., 2011).

De plus, une nouvelle proposition d'organisation dans les domaines de la manutention et du transport est l'Internet Physique (IP). IP est une solution de la durabilité de logistique globale. Dans ce nouveau concept, des objets physiques sont encapsulés dans des conteneurs appelés  $\pi$ -conteneurs. Ces sortes de conteneurs sont modularisées avec des dimensions standards. La Figure 1.1 montre comment les  $\pi$ -conteneurs peuvent être composés et décomposés (Montreuil, 2011). Cette standardisation réduit la complexité de gestion de conteneurs.

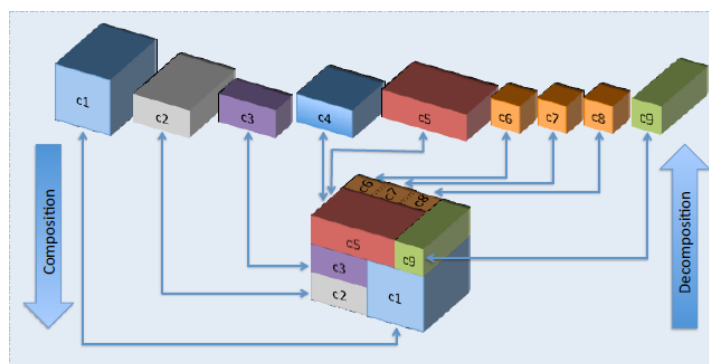


Figure 1.1 : Modularité des  $\pi$ -conteneurs unitaires et composants (Montreuil, 2011)

Un des aspects importants qui devraient être considérés dans le réseau logistique de l'IP est la gestion de retour de ces conteneurs réutilisables. La Figure 1.2 illustre qu'après un conteneur a été utilisé pour porter des marchandises d'un expéditeur à un destinataire, le conteneur doit être transporté à l'expéditeur suivant, qui peut être le même que le premier. Ce système de logistique de retour implique aussi le nettoyage, le maintien et l'entreposage des conteneurs. Quelle stratégie de gestion doit être considérée ? Qui a la responsabilité de retourner les conteneurs ? Où doivent-ils être cumulés ? Comment doit se faire le processus de traitement ? Quand le retour de conteneurs doit-il être fait ?

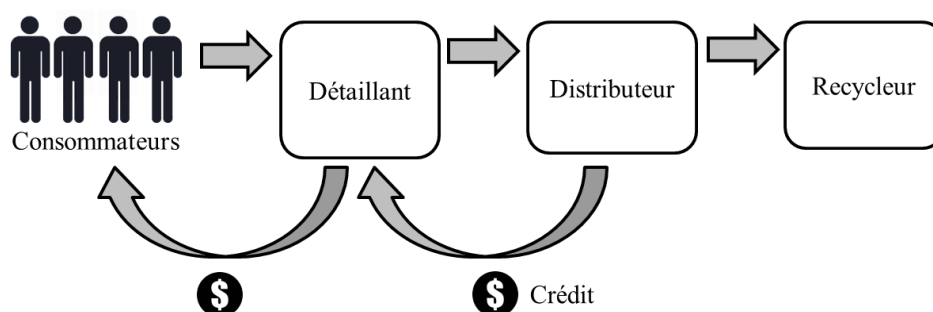


Figure 1.2 : Retour de conteneurs vides (traduction libre de l'auteur (Goldsby et Closs, 2000), p.6)

Lützenbauer (1993) distingue trois types de systèmes de conteneurs consignés pour le transport.

- 1- Système d'association d'échange : Dans le système d'association d'échange, chaque participant a sa propre flotte de conteneurs et en est responsable. Ainsi le nettoyage, le contrôle, le maintien et l'entreposage des conteneurs sont la responsabilité de chaque participant. À chaque échange de conteneurs, le destinataire donne à l'expéditeur un nombre correspondant de conteneurs vides en retour.
- 2- Système de transfert : Dans le système de transfert, l'expéditeur a la responsabilité entière pour le dépistage, l'administration, le maintien et l'entreposage des conteneurs.
- 3- Système de dépôt : Dans le système de dépôt, les conteneurs sont maintenus et entreposés par une agence centrale. L'expéditeur est fourni en conteneurs à partir de l'agence et après avoir été transportés au destinataire, les conteneurs vides sont collectés et sont retournés à l'agence. Pour ces systèmes, l'expéditeur paye un dépôt (acompte) à l'agence pour chaque conteneur utilisé. Le dépôt (l'acompte) est remboursé quand le conteneur est rendu à l'agence, ce qui encourage les retours rapides des conteneurs. Le dépôt (l'acompte) devrait



être au moins la valeur des conteneurs consignés. Il peut être utilisé pour indemniser l'agence centrale en cas de perte ou de vol de conteneurs.

Chang et al. (2006) et Crainic et al. (1993) proposent plusieurs stratégies pour repositionner les conteneurs vides dans l'arrière-pays (aux hinterlands) d'un port de mer :

- des conteneurs vides peuvent être retournés au port pour le repositionnement global ;
- des conteneurs vides peuvent être transportés à un dépôt à un port ou à un dépôt intérieur pour répondre aux demandes futures de conteneurs vides ;
- des conteneurs vides peuvent être déplacés vers des exportateurs dans la même région qui exigent des conteneurs vides ;
- des conteneurs vides peuvent être repositionnés entre des dépôts pour réduire des déséquilibres.

Il y a des recherches pour trouver des designs et des modèles d'aide à la décision rentable et efficace de systèmes des conteneurs consignés. Kroon et Vrijens (1995) proposent un modèle pour la localisation et l'installation d'un système de dépôt logistique. Choong et al. (2002) et Di Francesco et al. (2009) proposent des modèles pour repositionner des conteneurs vides. Il y a un manque de recherche sur le comment et les conditions qui devraient être considérés pour chaque stratégie de gestion. Il y a un besoin de système de gestion qui décrit le réseau à chaque niveau et détermine les règles d'exploitation et les responsabilités de chaque participant pour des activités diverses comme le transport, le nettoyage, le maintien, l'entreposage et la gestion de conteneurs.

Le diagramme de la Figure 1.3 présente les différentes étapes de suivi de notre recherche. L'objectif de cette recherche est de proposer une organisation de la gestion des retours des conteneurs et d'examiner comment elle peut être appliquée à des  $\pi$ -conteneurs. La littérature est étudiée pour déterminer l'impact de la recherche, les conditions de décision, les avantages et les inconvénients de chaque stratégie ainsi qu'identifier les meilleures pratiques dans le réseau de logistique inverse. Ensuite, différents scénarios basés sur les modèles plus pratiques sont présentés et simulés. Enfin, les résultats et la discussion sont présentés pour proposer une organisation de retour.

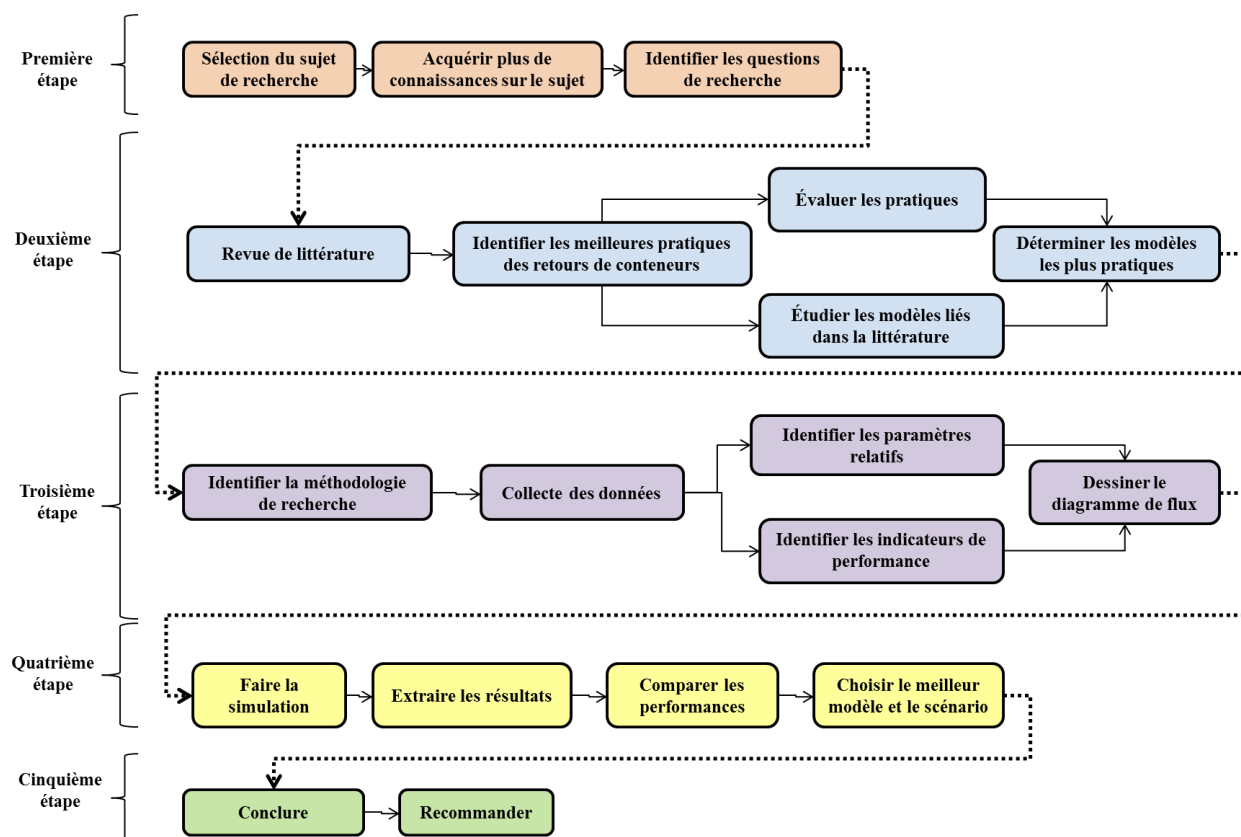


Figure 1.3 : Différentes étapes de suivi de notre recherche

## **CHAPITRE 2 REVUE DE LA LITTÉRATURE**

### **2.1 Introduction**

À cause du déséquilibre naturel du commerce, certaines zones ont un excédent de conteneurs vides tandis que d'autres ont une pénurie. Il y a une nécessité pour les transporteurs de repositionner leurs conteneurs vides afin d'être capable de satisfaire les demandes de conteneurs à l'avenir. La gestion des conteneurs vides signifie le repositionnement des conteneurs vides avec des coûts minimaux tout en respectant les demandes des conteneurs vides. Selon la littérature existante, la gestion des conteneurs vides peut être classée en niveau global et niveau régional (Boile et al., 2008). Les deux niveaux de repositionnement et les autres facteurs importants dans la gestion de retour des conteneurs sont expliqués dans les sections suivantes.

### **2.2 Niveaux de repositionnement**

#### **2.2.1 Repositionnement global**

Le déséquilibre global requiert le repositionnement global des conteneurs vides entre des ports de mer majeurs. C'est un processus complexe, car il est associé à des paramètres comme la structure du réseau de service mondial de transporteurs maritimes, la disponibilité des emplacements vides dans certaines chaînes de service de transporteur, le prix des nouveaux conteneurs, des accords de collaboration entre les transporteurs maritimes, le pourcentage du mélange de conteneurs propres et loués des transporteurs maritimes, et le degré de l'intégration verticale des activités de transporteurs (Theofanis et Boile, 2009).

#### **2.2.2 Repositionnement régional**

Au niveau régional, des conteneurs vides sont repositionnés entre des importateurs, des exportateurs, des dépôts intérieurs et des ports dans une petite zone géographique. La Figure 2.3 présente les quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides que l'on retrouve dans la littérature. Quand un navire arrive au port, des conteneurs chargés doivent être livrés aux différents emplacements intérieurs. Selon les déchargements de conteneurs des importateurs, les conteneurs vides doivent être ramassés et éloignés. Les conteneurs vides peuvent être retournés au terminal de

port pour le repositionnement global (stratégie I) ou peuvent être transportés au dépôt du port ou au dépôt intérieur pour des demandes futures dans l'arrière-pays (Chang et al., 2006) (stratégie II). La troisième stratégie est appelée « street turns » ; c'est-à-dire des conteneurs vides sont transportés directement aux expéditeurs de la même région qui demandent des conteneurs vides (Ioannou et al., 2006) (stratégie III). Par ailleurs, les conteneurs vides sont souvent repositionnés entre les dépôts pour surmonter les déséquilibres régionaux et réduire le coût avec le transport massif des conteneurs (Crainic et al., 1993) (stratégie IV). Le terme « Street turns » est une option intéressante pour de grandes compagnies de transport, mais c'est difficile à faire parce qu'il faut un niveau significatif de coordination. Les demandes d'opération d'import et d'export doivent être similaires et coïncider dans le temps. Le type des conteneurs, la compagnie de transport et le lieu doivent être aussi similaires. En plus, la plupart du temps, des conteneurs ont besoin des opérations intermédiaires après un cycle de livraison pour réutilisation (nettoyage, réparation, broissage qui sont normalement faits dans les dépôts). Évidemment, c'est le type de mouvement le plus efficace qui économise l'entreposage temporaire des conteneurs vides (Furió et al., 2013).

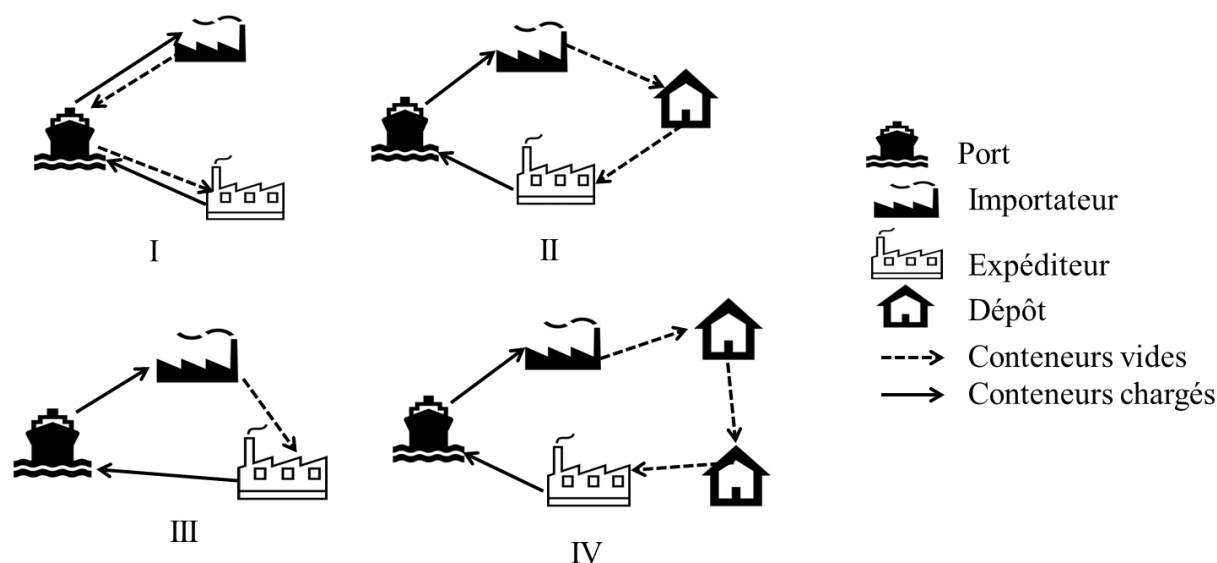


Figure 2.1 : Schéma de synthèse des quatre stratégies de repositionnement des conteneurs vides

Pour traiter le problème de repositionnement des conteneurs vides au niveau global ou régional, plusieurs décisions doivent être réalisées. Ces décisions appartiennent aux trois niveaux de planification ; stratégique, tactique et opérationnel.

Dans cette recherche, plus de 30 articles publiés entre 2010 et 2015 sur la gestion des retours des conteneurs sont étudiés. Les treize articles les plus pertinents sur la gestion des retours des conteneurs sont présentés dans le Tableau 2.1. Ils sont plus en lien direct avec le sujet de ce mémoire et traitent spécifiquement la gestion du repositionnement des conteneurs vides aux différents niveaux de décision. Dans ce tableau, les articles sont catégorisés selon des facteurs clés de prise de décision sur la gestion des retours des conteneurs, comme les niveaux de repositionnement, les niveaux de planification et les autres paramètres de la modélisation. Ces facteurs sont expliqués dans les sections suivantes. Le tableau complet se trouve à l'annexe A.

Tableau 2.1 : Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif
Assessment of empty container repositioning policies in maritime transport	Xu et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts opérationnels
Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports	Song et Dong (2011)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts totaux (Coûts d'inventaire, coûts de pénalité de ventes perdues, coûts de manutention et coûts de transport)
Strategic planning of empty container repositioning in the transpacific market: a case study	Zhang, Y. et Facanha (2014)	Compagnie de transport maritime et terminal ferroviaire	Modélisation stochastique	Stratégique	Régional	20/40/45 pieds	Réduire les coûts (des coûts de transport, de manutention, d'inventaire et de terminal)
Operation planning for maritime empty container repositioning	Long et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Modèle d'optimisation	Opérationnel	Global	Plusieurs types	Réduire le coût
Locating short-term empty-container storage facilities to support port operations: A user optimal approach	Lei et Church (2011)	Compagnies de transport maritime et d'entreprises de camionnage	Modélisation stochastique	Stratégique	Global	40 pieds	Réduire le parcours total
Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach	Vojdani et al. (2013)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Modélisation déterministe et simulation	Stratégique	Global et régional	20 pieds	Réduire les coûts de remplacement, d'entreposage, de transport, de manutention et de location

Tableau 2.2 : Principaux articles sur la gestion des retours des conteneurs (suite et fin)

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif
Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies	Theofanis et Boile (2009)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Analyse	Stratégique	Global	20/40 pieds	Réduire le coût
Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system	Yun et al. (2011)	Transporteurs de barges, et terrestres	Simulation	Tactique	Régional	40 pieds	Réduire les coûts de remplacement et de location
Optimization of empty container movements using street-turn: Application to Valencia hinterland	Furió et al. (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs et exportateurs	Modélisation déterministe et DSS	Opérationnel	Global et régional	40 pieds	Réduire le parcours
Optimization of empty container allocation in depot with the participation of freight forwarder	He (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs, exportateurs et transitaires	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	40 pieds	Réduire le coût et le parcours
Positioning empty containers under dependent demand process	Dang et al. (2012)	Dépôts	Modèle heuristique	Tactique	Global et régional	40 pieds	Réduire le coût
Empty container management for intermodal transportation networks	Choong et al. (2002)	Transporteurs de barges, et terrestres	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	20 pieds	Réduire le coût
Reducing hinterland transportation costs through container sharing	Sterzik et al. (2015)	Compagnies de camionnage	Modèles mathématiques de recherche tabou heuristiques	Stratégique et opérationnel	Régional	40 pieds	Réduire les coûts d'exécutions totales

## **2.3 Niveaux de planification**

### **2.3.1 Planification stratégique**

C'est la planification de décision à long terme comme le choix des emplacements de dépôts intérieurs et d'autres installations, le dimensionnement de la flotte et du dépôt, la détermination de zones clients et la définition des politiques de service pour la conception du réseau physique.

### **2.3.2 Planification tactique**

C'est la planification efficace d'allocation des ressources sur un horizon moyen. Cela implique la sélection de service, la distribution de trafic, les politiques des terminaux, la politique de mise en équilibre des conteneurs vides, la planification de véhicules et d'équipage, l'assignation du client et la division en zones aux dépôts (Crainic et Laporte, 1997). Le risque de manquer de conteneurs vides peut être évité par des accords de location à long terme (Braekers et al., 2011).

### **2.3.3 Planification opérationnelle**

Le problème de planification opérationnelle pour le repositionnement régional des conteneurs vides se divise en deux problèmes d'optimisation, une attribution aux conteneurs et un modèle de routage des véhicules. L'objectif du modèle d'attribution aux conteneurs est la détermination de la meilleure distribution de conteneurs vides et en même temps la satisfaction des demandes connues et prévues. L'objectif du modèle de routage des véhicules est de minimiser les coûts totaux de transport pour des conteneurs vides et des conteneurs chargés et de fournir une liste des mouvements chargés et vides à être exécutés pendant la période suivante (Crainic et al., 1993).

Les décisions opérationnelles pour le repositionnement global des conteneurs vides n'incluent pas les décisions de routage des véhicules. Car des conteneurs vides sont repositionnés en utilisant la capacité inoccupée sur des navires transportant des conteneurs chargés. Donc, les capacités restantes pour le repositionnement des conteneurs vides sont introduites comme des contraintes pour des modèles d'allocation des conteneurs (Braekers et al., 2011).

Une relation hiérarchique existe entre les modèles de planification. Des politiques générales sont déterminées au niveau stratégique. Ces politiques forment des lignes directrices pour les décisions



au niveau tactique et des décisions tactiques fixent le cadre pour les décisions opérationnelles et en temps réel.

## **2.4 Questions de modélisation**

En plus, pour modéliser la planification, plusieurs questions doivent être posées. Ces questions incluent la présence des paramètres stochastiques et la détermination d'un horizon de planification approprié (Braekers et al., 2011).

### **2.4.1 Paramètres stochastiques**

Une question majeure dans la modélisation du repositionnement des conteneurs vides est la présence d'incertitude. Les nombres de conteneurs vides disponibles dépendent de quelques paramètres d'incertitudes à propos de la demande de conteneurs vides aux ports pour le repositionnement global, le temps de retour des conteneurs des importateurs et des résultats d'inspection sur les dommages (Di Francesco et al., 2009). Des demandes inattendues de transport peuvent être citées par des clients importants. Les incertitudes viennent des valeurs de la performance du réseau, comme les temps de transport et les pannes d'équipement. La caractéristique distinctive de tous les modèles est la manipulation de la connaissance des événements futurs. Les modèles déterministes supposent une connaissance complète des arrivées et des sorties à venir de conteneurs, de capacités d'entreposage et de transport.

### **2.4.2 Horizon de planification**

La plupart des modèles dynamiques couvrent seulement un horizon de planification fini composé de plusieurs périodes. Un désavantage d'utiliser un horizon de planification fini pour présenter une réalité d'horizon infini est les distorsions à cause d'inventaires irréalistes terminant à la fin de la période de planification. Ces distorsions doivent être minimisées ou exclues, car elles peuvent affecter les valeurs de variables de décision dès la première période de planification. L'utilisation des modèles avec un horizon de planification roulant aide à réduire ces distorsions (Crainic et al., 1993).

En plus, les modèles varient selon le nombre de types de conteneurs considérés. Le nombre de parties considérés qui peut coopérer, est également d'une importance particulière.

Les approches de recherche opérationnelle sont différentes dans leur fonction objectif, les contraintes et les algorithmes de solution. Chaque approche est basée sur une formulation de problème spécifique.

## **2.5 Décisions de planification stratégique au niveau global**

La plupart des décisions à ce niveau visent la conception du réseau. La coopération entre des transporteurs maritimes et des compagnies de location de conteneurs est une stratégie qui a été principalement discutée par (Vojdani et al., 2013). Une approche stratégique pour gérer les conteneurs vides en collaboration serait l'utilisation conjointe de conteneurs par plusieurs compagnies maritimes et les sociétés de location de conteneurs. Cette stratégie s'appelle « container pooling ». L'objectif de cette stratégie est de réduire les coûts de repositionnement, de transport, de manutention et d'entreposage grâce à l'utilisation ciblée des déséquilibres structurels. Mais, en pratique, cette approche n'a guère été mise en œuvre pour des raisons de politique d'entreprise et d'inefficacité de mise en œuvre. Des approches de conception collaborative pour la gestion des conteneurs vides sont devenues importantes à cause de la croissance des pressions sur les coûts et de la recherche pour l'amélioration de l'efficacité. Il y a deux cas à distinguer, soit tous les conteneurs peuvent être échangés, soit les transporteurs sous-traitent un certain nombre de conteneurs à un consortium de mise en commun ou d'une entreprise commune.

Une des causes du problème des conteneurs vides est l'existence de différents propriétaires de conteneurs. La prise en compte des différentes conditions de propriété peut être décrite par la manutention des conteneurs loués. Si un transporteur veut redonner des conteneurs à une entreprise de location, un conteneur d'un transporteur ou un conteneur d'une autre entreprise de location ne seront pas acceptés. Donc les conteneurs doivent être distingués par leur propriétaire et l'autorisation de mise à bord doit être définie (Vojdani et al., 2013).

Vojdani et al. (2013), formulent un modèle mathématique qui présente des potentiels d'économies de coût par l'utilisation d'un système d'association d'échange (coopératif) en comparaison avec l'utilisation d'un système non coopératif. Ils concluent que la gestion coopérative des conteneurs vides peut réduire les mouvements des conteneurs vides, les opérations d'entrepôt et les coûts totaux. Les calculs basés sur des scénarios de réseaux maritimes et les données de commande générées ont illustré des avantages économiques importants pour les compagnies maritimes et les

autres acteurs. Les modèles présentés sont soumis à une variété d'hypothèses déterministes, qui supposent une connaissance complète de tous les événements futurs. Par conséquent, les effets stochastiques et les incertitudes doivent être contrebalancés par la programmation dynamique, un choix approprié de l'horizon de planification et d'une longueur plus courte des périodes de planification. En plus, des études de simulation peuvent être appliquées pour étudier la structure dynamique des réseaux de transport maritime.

## **2.6 Décisions de planification tactique au niveau global**

Le problème de la conception du réseau de service est étudié par des décisions à ce niveau. La conception du réseau du service pour une compagnie maritime a été présentée par Shintani et al. (2007) en considérant le repositionnement des conteneurs vides. Un seul parcours maritime est déterminé par le choix d'un ensemble optimal de ports d'appel séquencés. Des conteneurs vides et chargés sont optimisés simultanément. Le problème de « knapsack » est utilisé pour le formuler et des résultats sont obtenus avec un algorithme génétique basé sur une heuristique. Selon les résultats, le temps de manutention et les coûts reliés aux ports ont diminué quand les repositionnements des conteneurs vides sont considérés dans une route maritime.

Xu et al. (2013) font une revue de la modélisation mathématique dans le déplacement des conteneurs maritimes vides sous deux groupes ; le suivi des politiques de contrôle d'information (« state-feedback ») et les solutions basées sur les matrices d'origine-destination (OD). Des comparaisons sont faites entre les deux groupes pour identifier les pour et les contre, ainsi que la stabilité dans la réalité et dans le réseau dynamique de transport maritime. Des expériences sont examinées pour trois services de transport de trois compagnies. Les demandes des clients sont considérées selon une distribution normale avec incertitude. Ils essaient de proposer un guide de conception et de sélection des politiques de déplacement de conteneurs vides en minimisant des coûts opérationnels.

Le problème de déplacement des conteneurs vides dans un environnement dynamique et stochastique est formulé par Song et Dong (2011), de telle façon que des décisions de déplacement des conteneurs vides sont divisées en deux groupes : décision de chargement de conteneurs vides et décisions de déchargement de conteneurs vides. Une nouvelle politique de repositionnement avec des ports de destination flexible est présentée. Selon cette politique de gestion, les décisions

sur le lieu et le nombre de conteneurs vides à déplacer peuvent se faire avec des informations précises aux derniers moments. La politique du port flexible (FDP) est évaluée et comparée avec la politique du port de destination déterminé et conventionnel (DDP) dans plusieurs des scénarios à l'aide de la simulation. Selon les résultats, DDP est meilleur que FDP dans les scénarios où les affaires sont assez équilibrées à travers la route océanique («ocean leg») la plus longue. FDP est meilleur que DDP dans les scénarios avec des demandes déséquilibrées pour une taille de flotte moyenne.

## **2.7 Décisions de planification opérationnelle au niveau global**

La planification opérationnelle de repositionnement des conteneurs vides au niveau global est liée au problème d'allocation. Il y a deux directions de recherche pour la modélisation d'allocation des conteneurs. Une direction est l'utilisation de la programmation mathématique et l'autre direction est l'utilisation de la théorie des stocks.

Long et al. (2013) présentent un réseau d'espace de temps pour modéliser le problème de repositionnement des conteneurs vides au niveau opérationnel. Ce modèle essaie de minimiser le coût total de repositionnement. Des solutions peuvent être obtenues en quelques secondes pour satisfaire les besoins de repositionnement. Un outil d'aide à la décision basée sur le modèle est développé pour faciliter l'application dans l'industrie du transport maritime. Une expérimentation numérique est présentée basée sur les services actuels d'un transporteur maritime qui comptent 49 ports et 44 services. Ils démontrent que le coût de manutention représente une part très importante du coût total. Ce résultat indique que les opérateurs de conteneurs doivent faire plus attention à améliorer l'efficacité de la manutention des conteneurs vides dans les ports pour réduire le coût de repositionnement des conteneurs vides. Puis, le coût total opérationnel peut être réduit en utilisant la méthode de regard en avant avec prévision. Par des performances numériques, les plateformes de transbordement sont identifiées basées sur leurs activités de transbordement. Une méthode d'horizon mobile est adoptée pour manipuler des incertitudes des données de prévision reliée à l'approvisionnement, aux demandes et à la capacité disponible des navires.

## **2.8 Décisions de planification stratégique au niveau régional**

Un système de dépôts intérieurs est proposé par Boile et al. (2008) pour rationaliser la gestion des conteneurs vides au niveau régional. Ils ont proposé un modèle de planification stratégique pour

déterminer de nouveaux emplacements optimaux de dépôt d'un ensemble identifié de sites potentiels. Aucun flux de mise en équilibre des conteneurs vides entre des dépôts n'est considéré. Un problème de localisation de dépôt basé sur l'inventaire est formulé pour le long terme (10 ans). Des conteneurs vides sont transportés par camion et le « street turns » n'est pas autorisé. Ce modèle est appliqué au port de New York. Des résultats présentent une réduction de 49 % de kilomètres de conteneurs vides après 6 ans et une réduction de coût de 27 à 47 %.

Un repositionnement régional des conteneurs vides aux États-Unis est étudié par Façanha et al. (2003) pour les conteneurs en provenance et à destination de l'Asie. Un modèle d'optimisation est présenté pour déterminer le nombre optimal de terminaux intermodaux de chemin de fer. La fréquence de repositionnement des conteneurs vides entre les terminaux et les ports sont déterminés. Les deux composantes, déterministes et stochastiques, sont incluses dans le modèle. Les emplacements terminaux spécifiques et leurs aires de services respectives sont choisis basés sur le nombre optimal de terminaux. Les coûts de repositionnement sont calculés en utilisant un problème de flux du réseau de coût minimal. Cette étude montre qu'en introduisant plus de terminaux intérieurs, la distance parcourue par rail augmente, tandis que la distance parcourue par la route diminue.

Zhang, Y. et Facanha (2014) font une étude de cas d'une compagnie de transport maritime entre l'Asie et l'Amérique du Nord. Trois stratégies sont proposées : introduire les terminaux dans le réseau de transport maritime, utiliser les ports de la Côte Est, utiliser une flotte dédiée de camions. Ils donnent le nombre optimal de terminaux dans chaque région. Puis ils choisissent des emplacements des terminaux et leurs zones d'influence. Les villes sont regroupées selon un certain nombre de facteurs : les opérations de la ligne de transport maritime dans la ville (car il y a une pénalité implicite pour ouvrir une nouvelle installation), le nombre de parcours ferroviaires existant dans la ville et le nombre de compagnies ferroviaires qui desservent la ville. Les coûts logistiques totaux sont calculés et comparés avec les coûts de base et les coûts minimisés. La différence entre les coûts actuels et les coûts optimaux dépend des coûts ferroviaires. Le changement des coûts d'inventaire ; des coûts de manutention ferroviaire et des coûts de terminal n'ont pas d'impact sur les coûts totaux logistiques. La seule exception est le coût ferroviaire. Des coûts totaux logistiques changent avec un changement de l'approvisionnement des conteneurs vides. L'influence de chaque stratégie a été évaluée.

Sterzik et al. (2015) étudient des possibilités additionnelles pour le repositionnement des conteneurs vides si des entreprises de camionnage dans l'arrière-pays coopèrent les unes avec les autres. Les compagnies partagent leur information sur l'emplacement des conteneurs vides. Elles peuvent accepter d'assigner des conteneurs aux tâches de transport qui sont plus appropriées pour réduire le coût. Cet article présente, analyse et compare deux scénarios. Le premier porte sur une région d'arrière-pays où des compagnies de camionnage utilisent leurs conteneurs pour des demandes de transport de base. Le deuxième permet d'échanger des conteneurs vides entre toutes les compagnies de camionnage dans la région d'arrière-pays. La flexibilité de routage de véhicule et d'ordonnancement est augmentée, car il n'y a pas de nécessité pour la livraison et le ramassage de certains conteneurs avec une même compagnie de camionnage. L'intervalle de temps prédéfini pour un conteneur chez un client est déterminé par deux fenêtres de temps à chaque emplacement de client. Pendant la première fenêtre de temps, le conteneur chargé/vide doit être livré aux emplacements de réception/expédition. Une fois le conteneur déchargé/chargé, il peut être ramassé par un véhicule pendant la deuxième fenêtre de temps. La minimisation des coûts fixes est obtenue en augmentant le nombre de véhicules d'exploitation jusqu'à trouver une solution faisable. Les résultats obtenus pour des séries de données avec des fenêtres de temps serrées permettent de conclure que des entreprises de camionnage dans l'arrière-pays de ports maritimes profitent de la coopération. En considérant les coûts variables, le partage des conteneurs mène à une réduction de 7 %, c'est un impact positif sur la situation financière des compagnies de camionnage. Mais il y a trois obstacles pour transformer la coopération de partage des conteneurs en une pratique réussie. D'abord, des compagnies qui partagent des conteneurs vides ont peur d'aider leurs concurrents qui bénéficieraient d'une contribution sans une compensation. Deuxièmement, les compagnies hésitent à partager tous leurs conteneurs vides pour des raisons stratégiques (pour assurer leur service auprès de leur clientèle). Troisièmement, des compagnies de transport maritime ou de location qui sont les propriétaires des conteneurs dans les services porte-à-porte intermodaux ont peur de perdre le contrôle sur leurs propriétés parce que les conteneurs peuvent être endommagés ou être perdus.

## **2.9 Décisions de planification tactique au niveau régional**

Un problème de réapprovisionnement pour des conteneurs vides dans un système de plusieurs dépôts intérieurs est étudié par Dang et al. (2012). Les demandes et les retours des conteneurs sont supposés être des variables corrélées aléatoires, mais indépendantes. Une nouvelle politique de

repositionnement régional avec quatre méthodes heuristiques pour repositionner les conteneurs vides entre les dépôts est proposée. Une location de conteneur pour un temps court est disponible pour les moments de pénurie. Un modèle de simulation et un algorithme génétique basé sur heuristique sont développés pour trouver des politiques optimales des stocks reliées aux méthodes de repositionnement régional afin de minimiser le coût total attendu par unité de temps. Quelques expérimentations de calcul sont faites pour valider le modèle et examiner la sensibilité des résultats.

Furió et al. (2013) proposent deux modèles mathématiques (basés sur deux différents motifs de mouvement des conteneurs ; avec et sans « street-turns ») pour optimiser les mouvements des conteneurs vides au niveau régional entre les transporteurs maritimes, les importateurs, les terminaux et les dépôts en minimisant les coûts d'entreposage. Un de ces modèles d'optimisation est intégré dans un système d'aide à la décision et puis il est examiné avec des données réelles basées sur les opérations d'arrière-pays de Valencia. Les résultats confirment les avantages de mise en œuvre de ce type de modèle pour la prise de décision opérationnelle, principalement quand le « street turns » est considéré.

## **2.10 Décisions de planification opérationnelle au niveau régional**

La planification opérationnelle du repositionnement des conteneurs vides au niveau régional peut être divisée en deux sous-problèmes, un problème d'allocation des conteneurs et un problème de routage des véhicules.

L'allocation des conteneurs vides est intégrée aux décisions de routage pour des compagnies de camionnage par Zhang, R. et al. (2009). Un seul terminal de conteneurs et plusieurs dépôts de véhicules avec un stock de conteneurs vides sont considérés. Le problème est formulé comme un problème de « multiple vehicle travelling salesman » avec des fenêtres de temps et plusieurs dépôts. Un algorithme de recherche tabou est proposé pour résoudre le problème. Zhang, R. et al. (2010) reprennent le même problème en considérant plusieurs dépôts et plusieurs terminaux, et le résolvent avec une méthode de fenêtres de temps.

Des modèles mathématiques intégrant l'allocation des conteneurs et le routage pour des camions avec une capacité de deux conteneurs sont représentés par Huth et Mattfeld (2008). Des conteneurs sont transportés entre des plateformes dans un environnement dynamique et déterministe. Aucune fenêtre de temps n'est considérée. Le problème de routage est modélisé comme une généralisation

du problème de ramassage et de livraison. Le problème d'allocation est modélisé comme un problème de transport à plusieurs niveaux.

Un modèle d'optimisation statique et déterministe est proposé par Deidda et al. (2008) pour mettre en œuvre l'approche « street turns ». Ils abordent simultanément l'allocation des conteneurs vides entre des importateurs, des exportateurs et un port et la conception de routes de camions pour des conteneurs vides. Les transports de conteneurs chargés ne sont pas considérés. Des camions sont situés dans le port et ont une capacité de deux conteneurs. Aucune formulation classique de routage du véhicule n'est utilisée. Ceci présente l'avantage que les contraintes de connectivité standards résultant des formulations de routage du véhicule peuvent être exclues, ce qui permet l'utilisation d'algorithmes exacts.

## **2.11 Conclusion**

Selon les facteurs expliqués sur la planification aux différents niveaux de décision et pour conclure la revue littérature, deux modèles conceptuels de la gestion de retour des conteneurs vides sont présentés selon la littérature existante dans ce sujet pour faciliter la gestion et la prise de décision de la gestion des conteneurs vides. Ces deux modèles sont séparés selon le niveau de repositionnement des conteneurs. Le repositionnement global est présenté dans la Figure 2.1 et le repositionnement régional présenté dans la Figure 2.2.



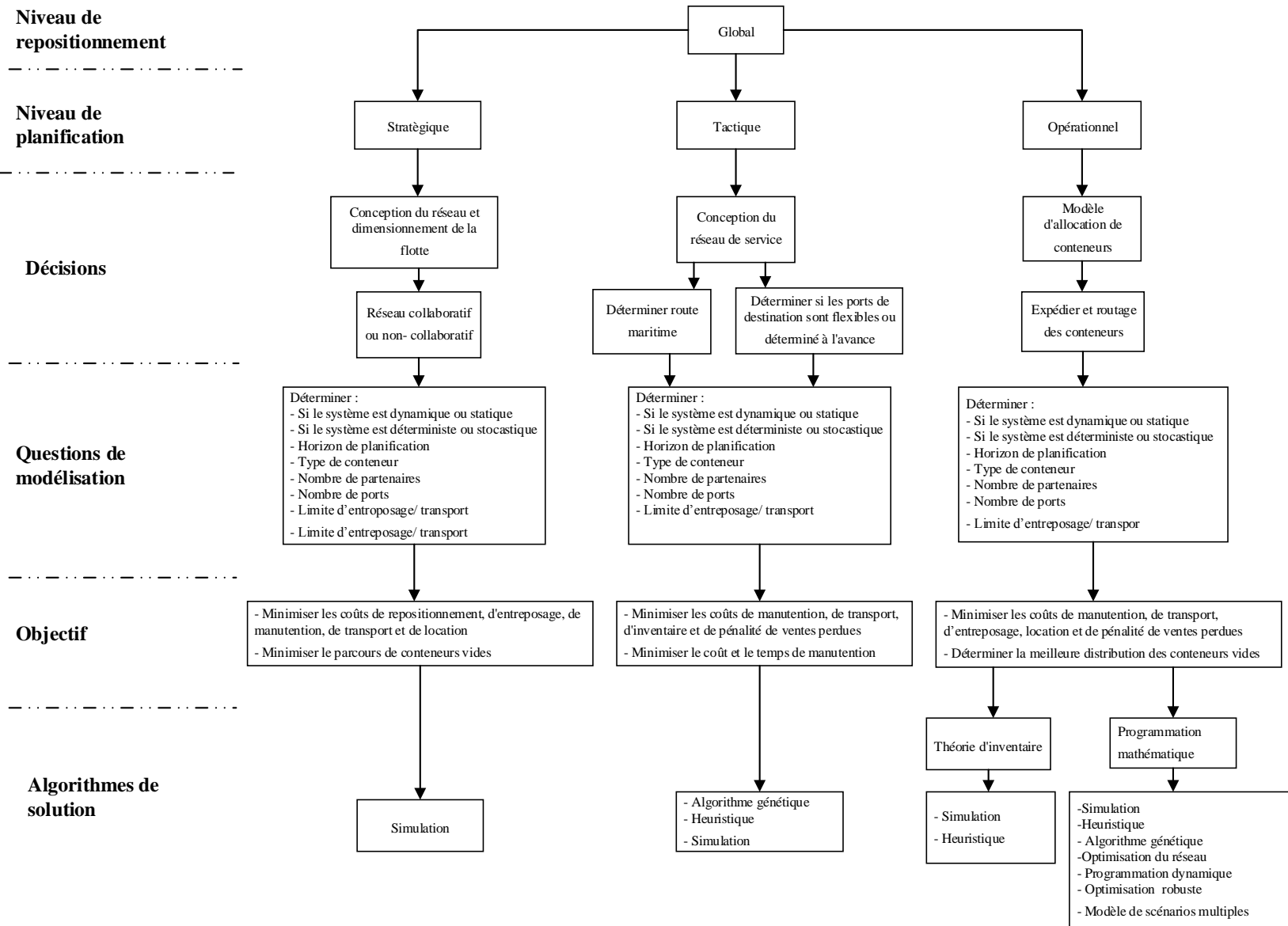


Figure 2.2 : Gestion des conteneurs vides au niveau global

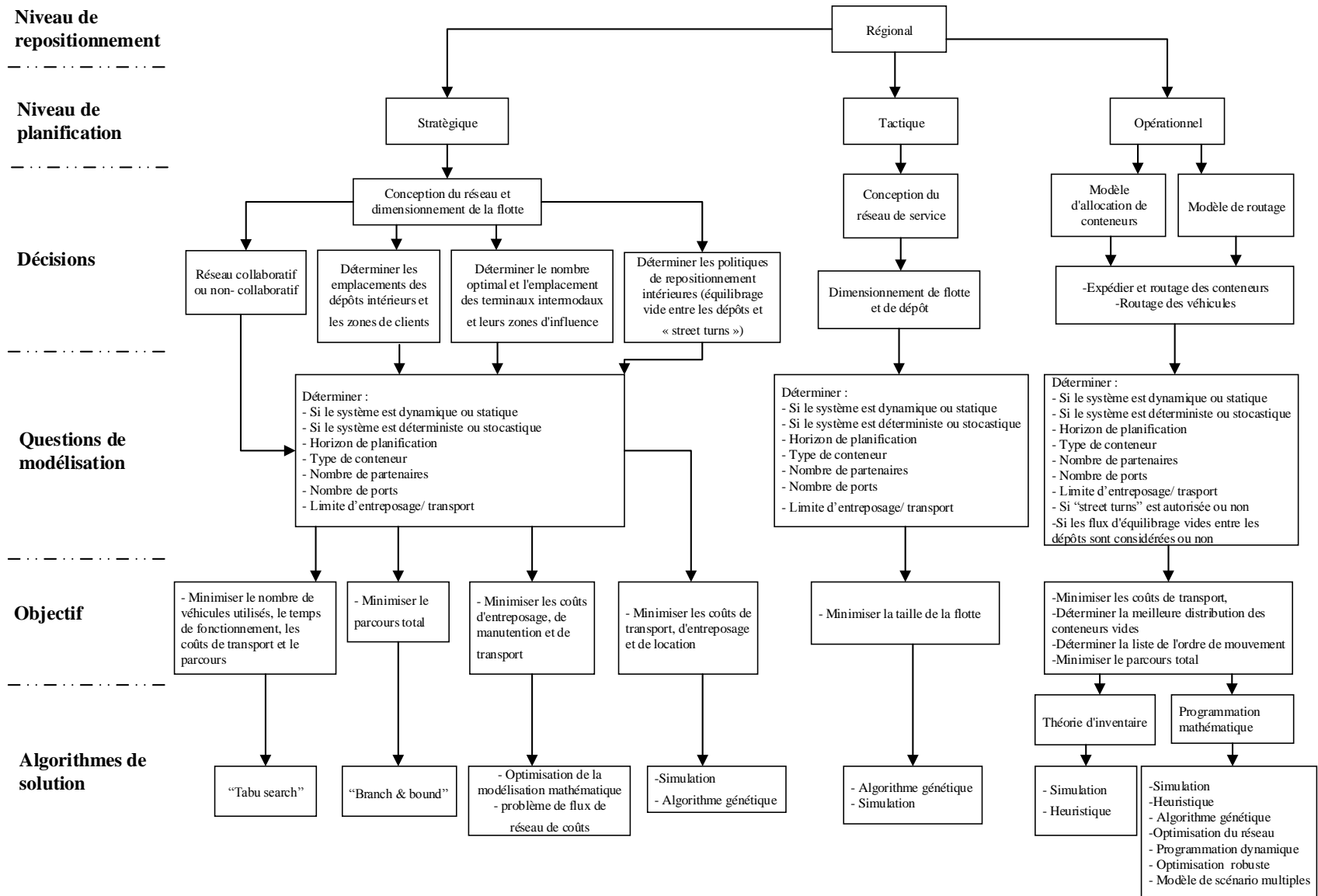


Figure 2.3 : Gestion des conteneurs vides au niveau régional

Comme il a été déjà expliqué, le taux de transport terrestre des conteneurs vides est plus élevé que celui des mouvements globaux des conteneurs vides. En minimisant les mouvements terrestres, les effets externes du transport comme la pollution de l'air et la congestion seront réduits.

Pour le repositionnement global, les conteneurs vides sont repositionnés en utilisant la capacité inutilisée sur les navires transportant des conteneurs chargés. Certains niveaux de succès dans l'optimisation des mouvements globaux des conteneurs vides sont déjà atteints, mais moins d'attention est accordée à la gestion régionale des conteneurs vides (Braekers et al., 2011).

Dans cette recherche, une distinction est faite entre les modèles de la gestion des conteneurs vides au niveau global et au niveau régional. Au niveau régional un grand nombre d'options d'attribution des décideurs sont disponibles : il y a plusieurs expéditeurs et importateurs, et des fortes offres et demandes de conteneurs vides. Les conteneurs sont souvent transportés individuellement (ou par deux) par camion entre tous les nœuds. Au niveau global, moins d'options sont disponibles : les conteneurs vides ne peuvent pas être repositionnés que lorsque les emplacements vides sont disponibles sur les navires. Tous les ports ne sont pas directement reliés les uns aux autres par une voie de transport maritime et les temps d'expédition sont souvent déterminés par un horaire fixe (Braekers et al., 2011). Dans cette recherche, il a été décidé d'étudier plus la gestion régionale des conteneurs vides pour être capable de recommander la meilleure stratégie pour l'IP. On suppose que dans l'IP les propriétaires des conteneurs sont des compagnies maritimes et les compagnies maritimes travaillent en collaboration les unes avec les autres. La comparaison entre les stratégies de gestion des retours des conteneurs maritimes vides est faite par simulation à l'aide de données de Mittal (2008). C'est une nouvelle approche qui n'a pas été exploitée jusqu'à aujourd'hui selon la littérature. Le chapitre suivant explique la méthodologie et les modèles étudiés pour le remplacement des conteneurs vides.

## **CHAPITRE 3    MODÈLES ET MÉTHODOLOGIE**

### **3.1 Introduction**

Dans la première partie de ce chapitre, nous présentons l'objectif des modèles, les hypothèses et les paramètres des modèles, les indicateurs de performance et la région d'étude. Dans la seconde partie, deux scénarios selon les deux différents modèles pour la stratégie de remplacement des conteneurs vides sont présentés. Le premier modèle donne les opérations réelles dans la plupart des ports parce que la stratégie « street-turns » a des difficultés d'implémentation. Dans le deuxième, l'opération « street-turns » (des mouvements directs d'importateurs aux expéditeurs) est considérée.

### **3.2 Objectif des modèles**

L'objectif des modèles est de minimiser le coût total du système prévu dans le repositionnement régional des conteneurs vides dans un horizon de temps pour chaque scénario. Les coûts totaux comprennent tous les coûts de transport entre le port, les dépôts, les importateurs et les expéditeurs, ajoutés aux coûts d'entreposage et aux coûts de manutention. La structure du réseau de transport implique des liens entre les importateurs et les dépôts, les dépôts et les expéditeurs, le port et les expéditeurs, et entre le port et les dépôts. L'opération d'un système peut être représentée par un conteneur plein qui est déchargé chez l'importateur. Ce conteneur vide est transporté pour entreposage au dépôt ou au terminal d'un port. Lorsque les conditions appropriées sont réunies, le conteneur vide pourrait être directement transporté à un expéditeur prêt à charger, cela s'appelle « street-turn ». Plus souvent, les conteneurs vides requis par les expéditeurs seraient livrés à partir de ceux qui sont stockés dans les terminaux et les dépôts. En plus, pour équilibrer le système, des conteneurs vides peuvent être transportés entre des dépôts dans un même quartier.

### **3.3 Hypothèses des modèles**

Afin d'éviter une complexité inutile du modèle, pour une formulation exacte de la logistique des conteneurs vides et pour modéliser la réalité d'une manière dont les décisions optimales sont prises, les hypothèses et conditions suivantes sont considérés.

- La stratégie « street turn » est difficile à mettre en œuvre, car elle a besoin d'un niveau significatif de coordination. Les besoins de fonctionnement d'importation et d'exportation doivent être semblables et coïncider dans le temps, ainsi que le type de conteneurs, la compagnie de transport et le lieu. En plus, la plupart du temps, les conteneurs ont besoin d'opérations intermédiaires après un cycle de livraison afin d'être réutilisés (brossage, nettoyage, réparation, etc.). Évidemment, cela est le type de mouvement le plus efficace, car il économise les entreposages temporaires à vide.
- Les conteneurs vides peuvent être entreposés aux dépôts ou aux terminaux, mais pas chez les importateurs ou chez les expéditeurs.
- Les dépôts et les terminaux ont une capacité limitée pour entreposer des conteneurs vides.
- Dans chaque période de temps, le nombre de chaque type de conteneurs vides généré chez l'importateur ou arrivé à tout terminal d'autres ports est connu.
- Dans chaque période de temps, le nombre de chaque type de conteneurs vides qui sont requis par les expéditeurs et par les terminaux pour exporter aux autres ports est connu.
- Ce sont les compagnies de transport maritime qui sont les propriétaires des conteneurs vides.
- La gestion collaborative des conteneurs vides entre les différents transporteurs maritimes est considérée. Donc les compagnies de location sont les membres d'une société de mise en commun des conteneurs.
- C'est la responsabilité des compagnies de transport maritime de fournir aux expéditeurs des conteneurs vides, puis les expéditeurs chargent les conteneurs et les envoient au terminal. Les compagnies maritimes doivent les gérer, incluant le repositionnement des conteneurs vides, la réparation des conteneurs endommagés, l'entreposage des conteneurs aux différents dépôts selon la demande locale, le suivi des conteneurs et ainsi de suite augmentera le coût opérationnel des compagnies maritimes.
- Pour le repositionnement des conteneurs vides, des compagnies maritimes normalement coopèrent avec les dépôts locaux. Les dépôts jouent un rôle important dans la gestion des conteneurs et un dépôt sert souvent à différentes compagnies maritimes. La fonction majeure des dépôts est l'entreposage des conteneurs vides pour des compagnies maritimes. Ils fournissent également des conteneurs vides aux expéditeurs. Les dépôts vérifient

périodiquement l'inventaire des conteneurs vides et informent les compagnies maritimes pour garder l'équilibre de stocks.

- Les transitaires choisissent un dépôt approprié où les compagnies maritimes entreposent des conteneurs vides et ont un contrat avec eux. Quand les expéditeurs ont besoin de conteneurs vides ou les importateurs veulent retourner des conteneurs vides, un transitaire organisera les transports avec des semi-remorques.
- Aussitôt qu'une expédition arrive chez un importateur, les conteneurs sont déchargés immédiatement, et les conteneurs vides deviennent disponibles.
- Le transport régional est fait par camion.

### **3.4 Paramètres des modèles**

Les paramètres des modèles sont les suivants :

- nombre de l'offre et de la demande de conteneurs vides par les importateurs et les exportateurs selon différents scénarios ;
- nombre des importateurs, des exportateurs et des dépôts ;
- emplacements des importateurs et des exportateurs ;
- emplacements des dépôts intérieurs ;
- distances entre le port et tous les dépôts ;
- distances entre tous les dépôts et les clients ;
- pourcentage de besoins de réparation de conteneurs vides ;
- pourcentage des cas de stock insuffisant.

### **3.5 Indicateurs de performance**

Deux indicateurs de performance sont utilisés.

- 1- La distance parcourue : c'est la distance totale que les conteneurs vides parcourent quand ils quittent les importateurs jusqu'aux exportateurs ou au port.
- 2- Le coût total de l'emplacement des conteneurs vides : ce coût total comprend tous les coûts de transport entre le port, les dépôts, les importateurs et les expéditeurs, plus les coûts d'entreposage et les coûts de manutention.

Dans le chapitre suivant, la simulation est utilisée pour évaluer les performances de chaque scénario et analyser leurs possibilités et leurs avantages.

### 3.6 Régions d'étude

Pour analyser les performances du système de chaque scénario, des données du port de New York/New Jersey (PONYNJ) sont utilisées (Mittal, 2008). La région regroupe quatre états majeurs : Pennsylvanie, New Jersey, New York et Connecticut. Cette région est choisie parce que des données sont disponibles et le port PONYNJ est le port le plus important de la Côte-Est et le troisième plus grand port aux États-Unis. La région a une forte concentration des affaires d'import-export. Le New Jersey possède le troisième plus grand entrepôt commercial dans le pays, après Los Angeles et Chicago. La consommation régionale et le nombre de conteneurs chargés sont très élevés. Environ 95 % de toutes les marchandises conteneurisées passe par le PONYNJ et consommées dans treize régions avoisinantes. Les conteneurs chargés viennent par voie terrestre vers la région de NY/NJ. Comme le marché des consommateurs est à une distance relativement courte du port, les camions restent le mode préféré et prédominant pour le transport de conteneurs. Avec un déséquilibre significatif entre les importations et les exportations dans cette région, le repositionnement et l'entreposage des conteneurs vides présentent des défis.

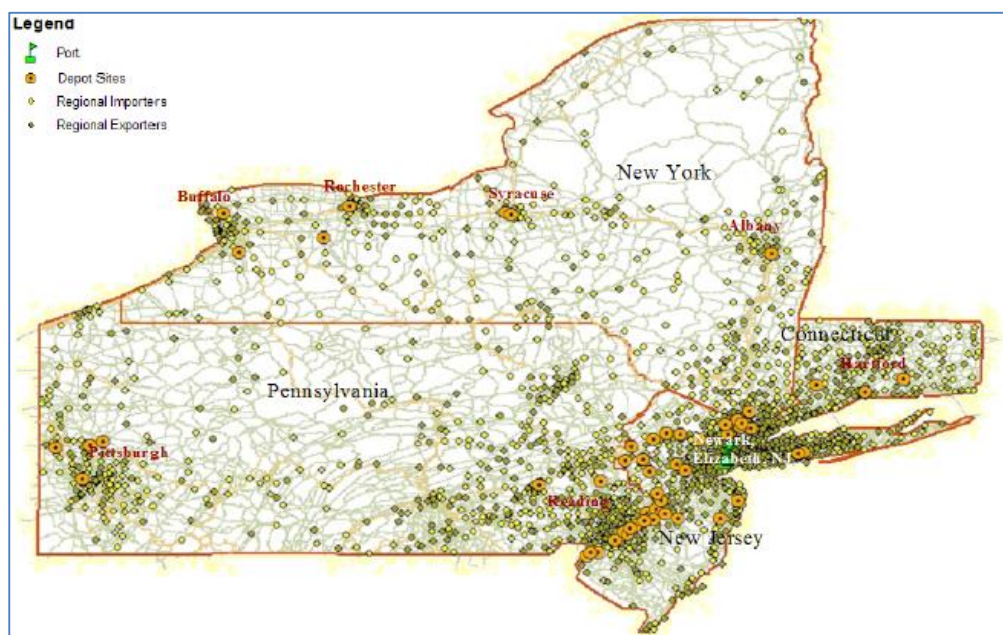


Figure 3.1 : Régions d'étude ((Mittal, 2008), p.46)

### 3.7 Données

Pour déterminer la distance parcourue et les coûts de transport de remplacement des conteneurs vides, les données suivantes sont prises et générées selon l'information de référence. Les données annuelles de volume d'importation et d'exportation au port et leur tendance sont obtenues à partir de PONYNJ (Mittal, 2008). Le Tableau 3.1 présente les volumes d'importation et d'exportation au PONYNJ pour une période de 10 ans. La différence entre les volumes importés et les volumes exportés implique un besoin de repositionnement des conteneurs vides entre les dépôts et le port afin de les envoyer à d'autres ports (repositionnement global).

Tableau 3.1 : Volumes d'importation et d'exportation au PONYNJ (1997-2007)

Année	Importation en nombre de conteneurs	Exportation en nombre de conteneurs	Pourcentage de croissance des importations	Pourcentage de croissance des exportations
1997	1 057 769	680 844		
1998	1 212 717	671 551	14,65	-1,36
1999	1 362 438	664 750	12,35	-1,01
2000	1 511 579	688 765	10,95	3,61
2001	1 587 675	767 458	5,03	11,43
2001	1 879 455	747 661	18,38	-2,58
2003	1 964 759	838 277	4,54	12,12
2004	2 238 763	924 434	13,95	10,28
2005	2 438 367	978 254	8,92	5,82
2006	2 601 327	1 049 918	6,68	7,33
2007	2 640 303	1 253 189	1,50	19,36



Selon les données utilisées, le réseau est constitué de 3 000 importateurs, 800 exportateurs, 21 dépôts et 1 port. Le nombre de dépôts est le nombre optimal qui a été retenu par Mittal (2008). L'évaluation de performance du système peut être faite selon certaines conditions des paramètres, comme les modèles de l'offre et de la demande des clients, les capacités d'entrepôts et les coûts de transport de conteneurs vides.

Nous avons par ailleurs fait les hypothèses suivantes :

- 3- 60 % de conteneurs de port ont besoin de réparation.
- 4- 40 % de conteneurs des importateurs ont besoin de réparation.

Comme les distances exactes entre les clients et les dépôts et entre les dépôts et le port ne sont pas disponibles. Des distances ont été générées aléatoirement. Les fonctions utilisées sont résumées dans le Tableau 3.2.

Tableau 3.2 : Distances entre différents nœuds du réseau

<b>De \ À</b>	<b>Dépôts</b>	<b>Port</b>	<b>Expéditeur (dans la même région)</b>
Importateur	UNIF(101, 497)		UNIF(55, 300)
Expéditeur	UNIF(120, 493)	TRIA(102, 250, 398)	
Port	UNIF(13, 296)		

De plus, les coûts de transport, d'entreposage et de manutention sont les mêmes que ceux utilisés par Mittal (2008), voir Tableau 3.3.

Tableau 3.3 : Coûts logistiques

<b>Coût d'entreposage par conteneur par jour</b>	<b>1 \$</b>
<b>Coût du transport par camion par conteneur par km</b>	<b>5 \$</b>
<b>Coût de manutention par conteneur</b>	<b>2 \$</b>

La vitesse des camions a été supposée par la fonction UNIF (70, 90) en kilomètres par heure et le temps de manutention pour chaque conteneur suit une fonction TRIA (4,5, 5, 15,5) en minutes.

### 3.8 Scénarios

Pour examiner le potentiel et la performance des systèmes, deux scénarios ont été évalués.

#### 3.8.1 Scénario 1

Le scénario 1 est le scénario de référence qui simule la stratégie actuelle de retour des conteneurs vides. L'opération de ce scénario peut être expliquée en suivant un conteneur plein qui est déchargé chez un importateur. Le conteneur vide est transporté à un terminal ou à un dépôt pour l'entreposage. Les conteneurs vides requis par les expéditeurs seraient livrés à partir de ceux qui sont entreposés dans les terminaux et dépôts. En plus, pour équilibrer le système, certains conteneurs vides peuvent être importés de terminaux d'autres ports ou exportés vers les terminaux d'autres ports. Le flux de ce scénario est présenté dans la Figure 3.2.

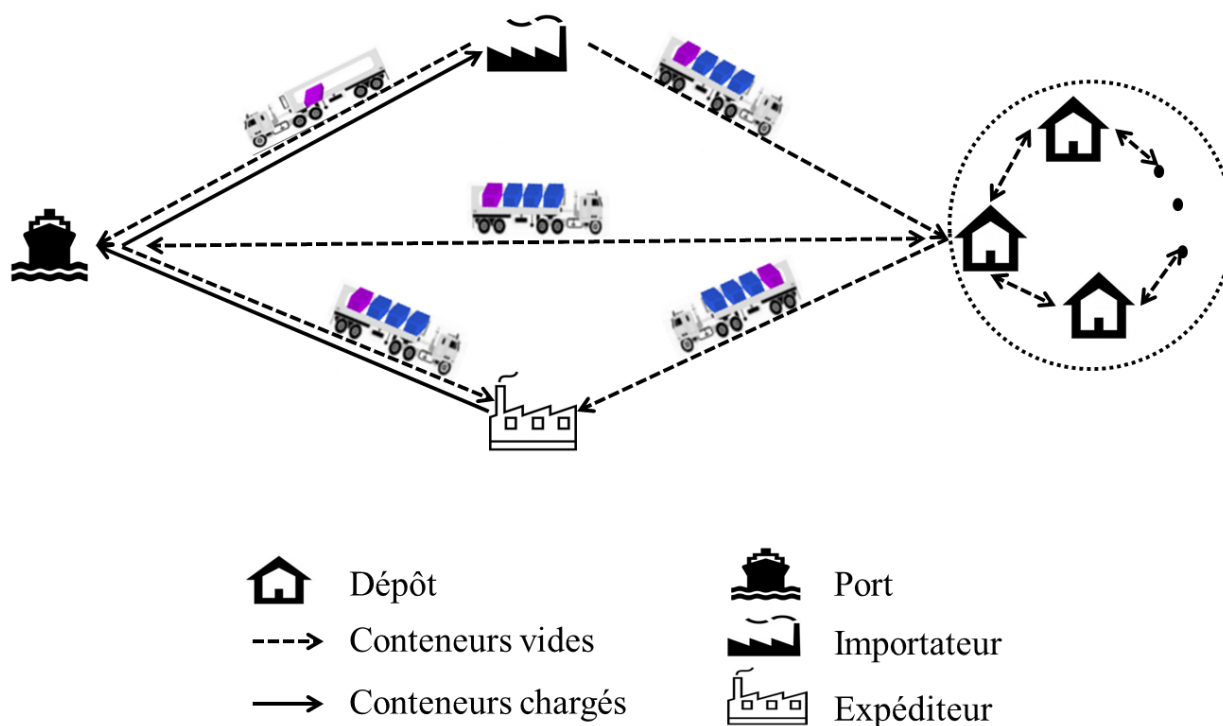


Figure 3.2 : Scénario 1 - système de retour des conteneurs

Le diagramme de flux de scénario 1 est présenté à la Figure 3.3.

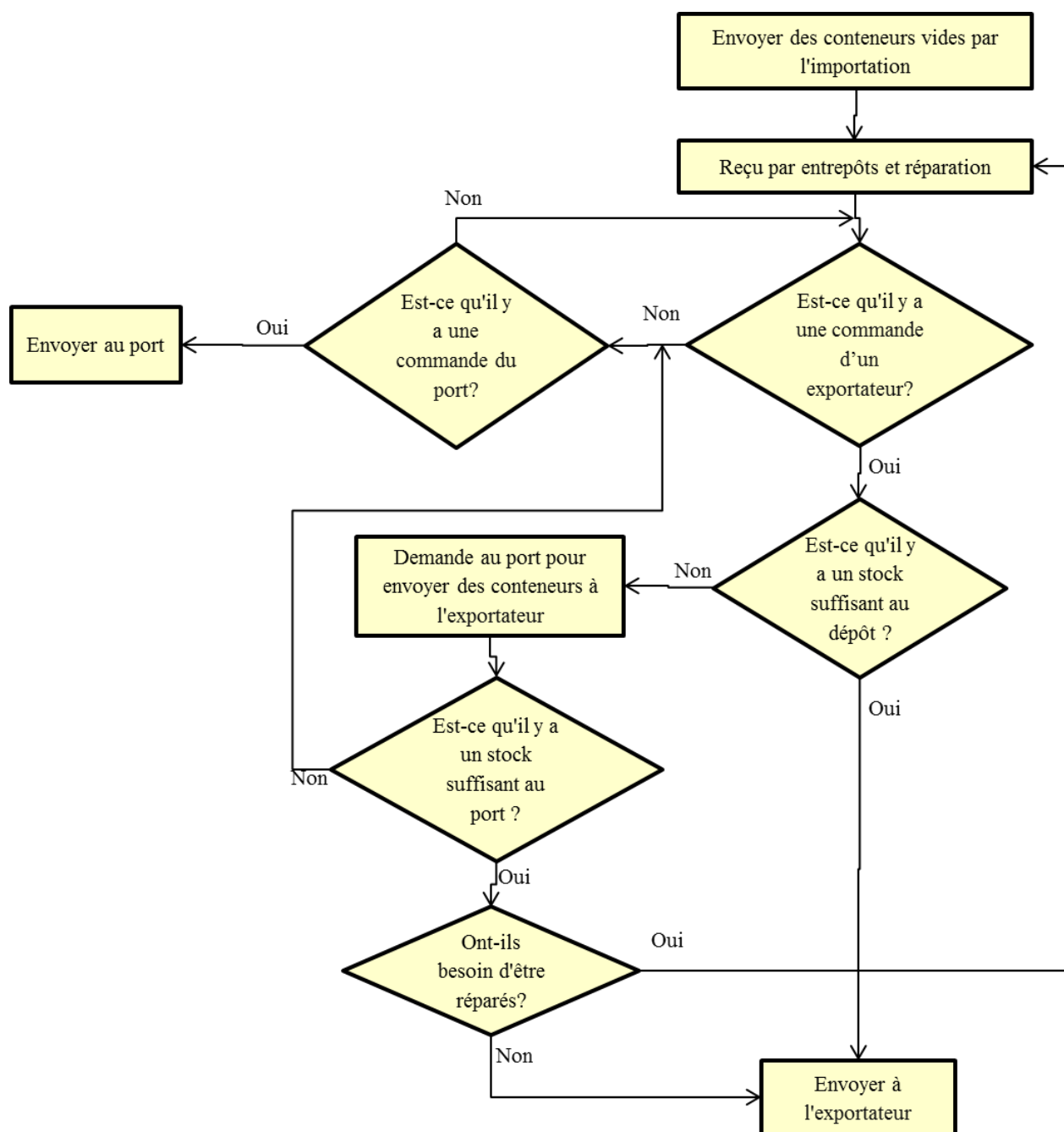


Figure 3.3 : Diagramme de flux du scénario 1

### 3.8.2 Scénario 2

Dans le scénario 2, la stratégie « street-turn » est considérée. Lorsque les conditions appropriées sont réunies, les conteneurs vides pourraient être directement transportés à un expéditeur prêt à charger.

Cette stratégie est présentée dans la Figure 3.4.

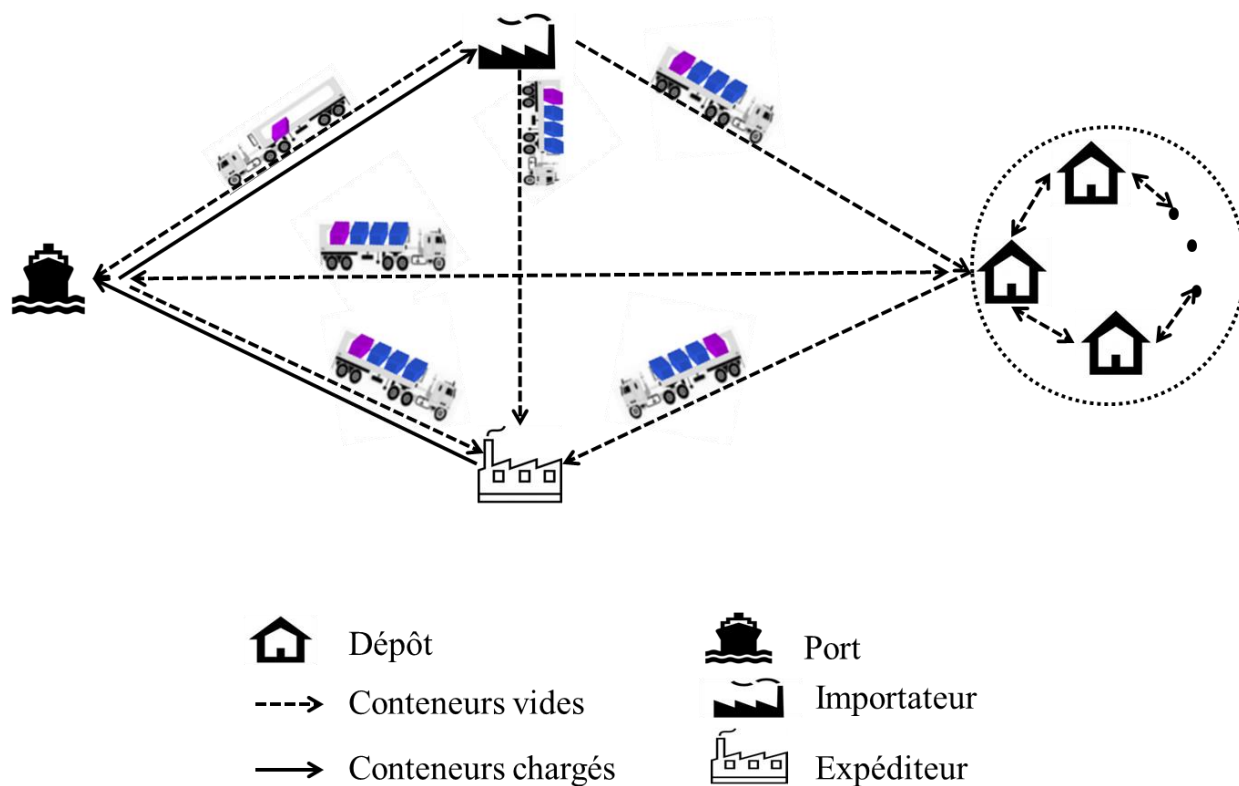


Figure 3.4 : Scénario 2 - système de retour des conteneurs avec la stratégie « street turn »

La Figure 3.5 présente le diagramme de flux de ce scénario.

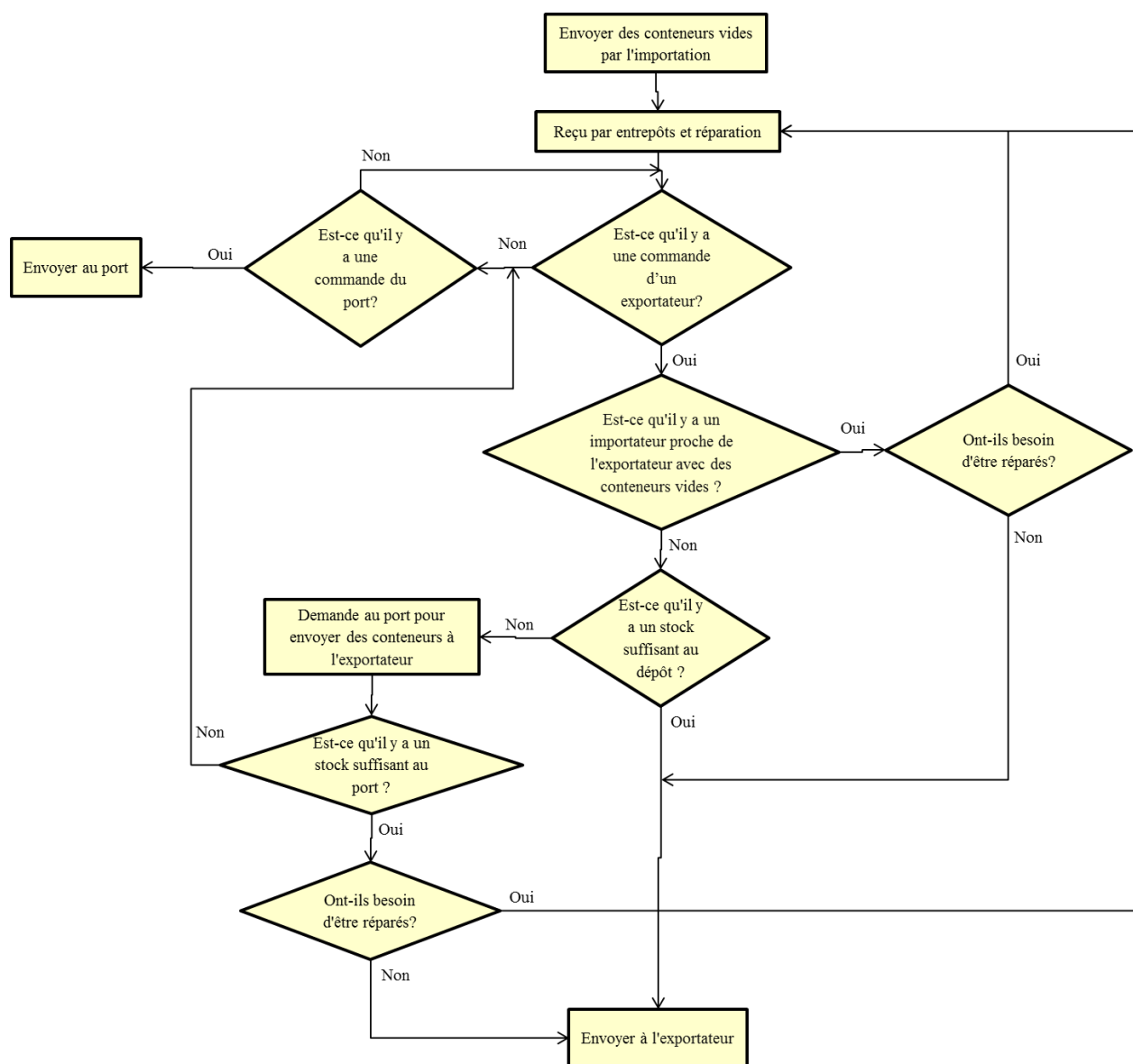


Figure 3.5 : Diagramme de flux du scénario 2

### 3.9 Validation et plan d'expériences

Afin d'être capable de valider les modèles, les données de Mittal (2008) ont été utilisées. Comme déjà mentionné, le nombre de dépôts considéré dans notre simulation est le nombre optimal qui a été obtenu par Mittal (2008). Ses données sont : 21 dépôts, 3 000 importateurs, 800 exportateurs et un port. Aucune donnée sur les emplacements et les distances entre les nœuds du réseau n'est disponible. De même, aucune donnée sur l'affectation des importateurs et des exportateurs aux

différents dépôts n'est disponible. Il a été associé aux 21 dépôts le même nombre d'importateur et d'exportateurs, soit 141 et 39.

Afin de minimiser le pourcentage de pénurie, 7 simulations avec différentes capacités des dépôts ont été réalisées, voir la Figure 4.1.

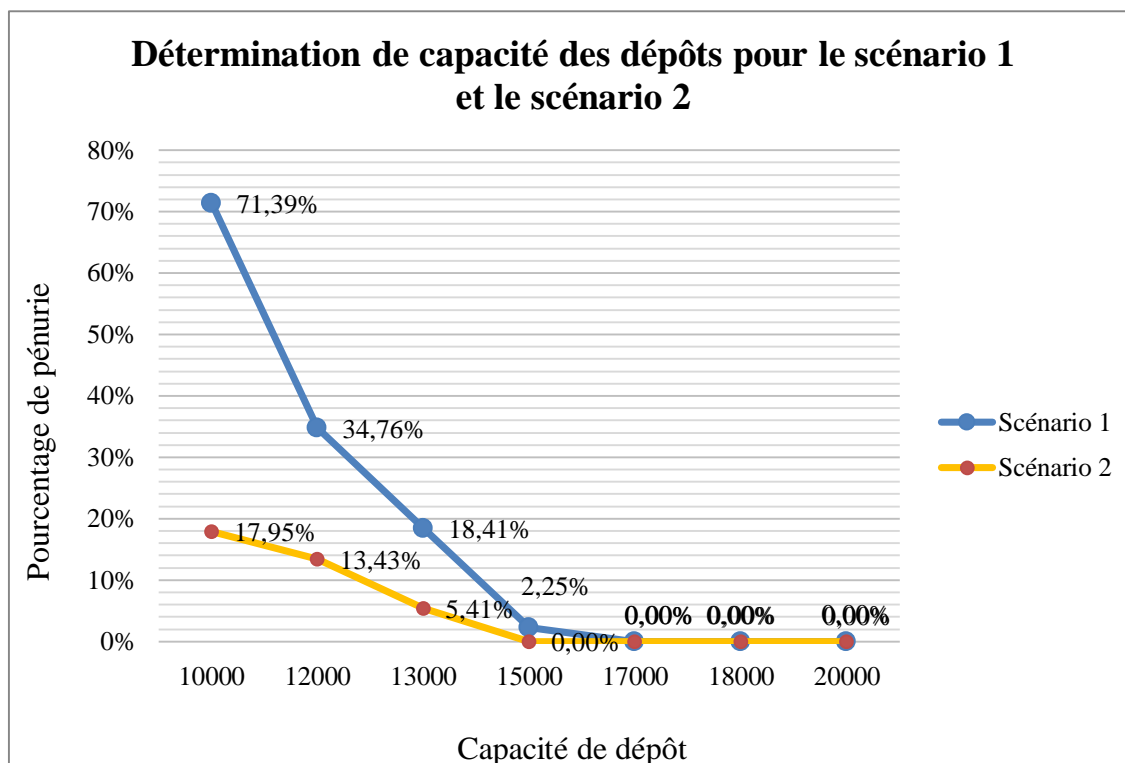


Figure 3.6 : Détermination de capacités des dépôts pour les scénarios 1 et 2

La capacité de 15 000 a été choisie pour faire la simulation finale et obtenir les résultats. Parce qu'avec cette capacité, il n'y aurait pas de pénurie dans le scénario 2 et il n'y aurait qu'une pénurie de 2,25 % pour le scénario 1.

### 3.10 Conclusion

Dans cette partie du travail, on a présenté deux modèles et deux scénarios pour la gestion des retours des conteneurs. On a présenté le diagramme de flux de chaque scénario afin de faire la simulation pour les deux modèles en utilisant les données de la région d'étude.

Ensuite et dans le cadre du chapitre suivant, on va simuler les modèles et vérifier les résultats.

## **CHAPITRE 4 ANALYSE ET RÉSULTATS**

### **4.1 Introduction**

Dans ce chapitre, les deux scénarios sont simulés et les résultats obtenus sont présentés et comparés les uns avec les autres. La comparaison est bien démontrée avec plusieurs diagrammes.

### **4.2 Analyse**

Deux scénarios sont simulés pour déterminer l'efficacité de la stratégie « street-turns » à réduire la distance parcourue des véhicules et à augmenter la capacité régionale pour une meilleure gestion de retour des conteneurs vides. Le premier scénario modélise la situation actuelle et évalue les conditions de la gestion des conteneurs vides. Il évalue la capacité des dépôts existants pour gérer les volumes de conteneurs vides et calcule le coût de repositionnement des conteneurs vides. Le deuxième scénario modélise le système en considérant la stratégie « street-turns ». Le coût de repositionnement des conteneurs vides est calculé et comparé avec le premier scénario.

Les simulations de deux scénarios sont faites sur une durée de un an (365 jours) et avec 30 répliques pour atteindre une fiabilité statistique acceptable. Chaque performance prend environ une heure et quinze minutes.

Les modèles sont résolus en utilisant Arena 14.70 sur un ordinateur Intel® Core™ CPU 1,86 GHz, 4,00 Go RAM.

### 4.3 Résultats

Le Tableau 4.1 présente les résultats de simulation pour les deux scénarios.

Tableau 4.1 : Résultats de simulation pour le repositionnement des conteneurs vides

	Scénario 1	Scénario 2	Différence en pourcentage
<b>Nombre de conteneurs repositionnés</b>	23 201	16 515	28,82
<b>Distance parcourue (km)</b>	7 809 457	4 013 145	48,61
<b>Coût de transport (1 an)</b>	39 047 285 \$	20 065 725 \$	48,61
<b>Coût d'entreposage (1 an)</b>	15 515 253 \$	12 620 411 \$	18,66
<b>Coût de manutention (1 an)</b>	156 220 \$	118 196 \$	24,34
<b>Coût total de repositionnement terrestre (1 an)</b>	54 640 648 \$	32 745 234 \$	40,05

Les résultats de scénario 1 montrent que le coût total de repositionnement pour une année sera 54 640 648 \$. Ce coût inclut le coût de transport de 23 201 conteneurs repositionnés et le coût d'entreposage et le coût de manutention pour une durée d'un an. Les résultats de scénario 2 montrent que le coût de repositionnement pour une année sera 32 745 234 \$. Ce coût inclut le coût de transport de 16 515 conteneurs repositionnés et le coût d'entreposage et le coût de manutention pour une durée d'un an. La différence de réduction entre les deux scénarios est de 40,05 %.

La distance parcourue pour transporter des conteneurs vides dans le système du scénario 1 est de 7 809 457 km pour une durée d'un an. Mais cette distance dans le système du scénario 2 n'est que 4 013 145 km pour une durée d'un an. Cela représente 48,61 % de réduction. En utilisant le trajet direct des importateurs aux exportateurs, deux trajets inutiles sont éliminés la plupart du temps.

À titre d'exemples, la Figure 4.2 présente le nombre de conteneurs envoyés par le groupe d'importateurs pour le dépôt 1 et la Figure 4.3 présente le nombre de conteneurs demandés par le



groupe d'exportateurs pour le dépôt 1. La Figure 4.2 montre 141 importateurs de groupe de dépôt 1 et la Figure 4.3 montre 39 exportateurs d'un même groupe de dépôt.

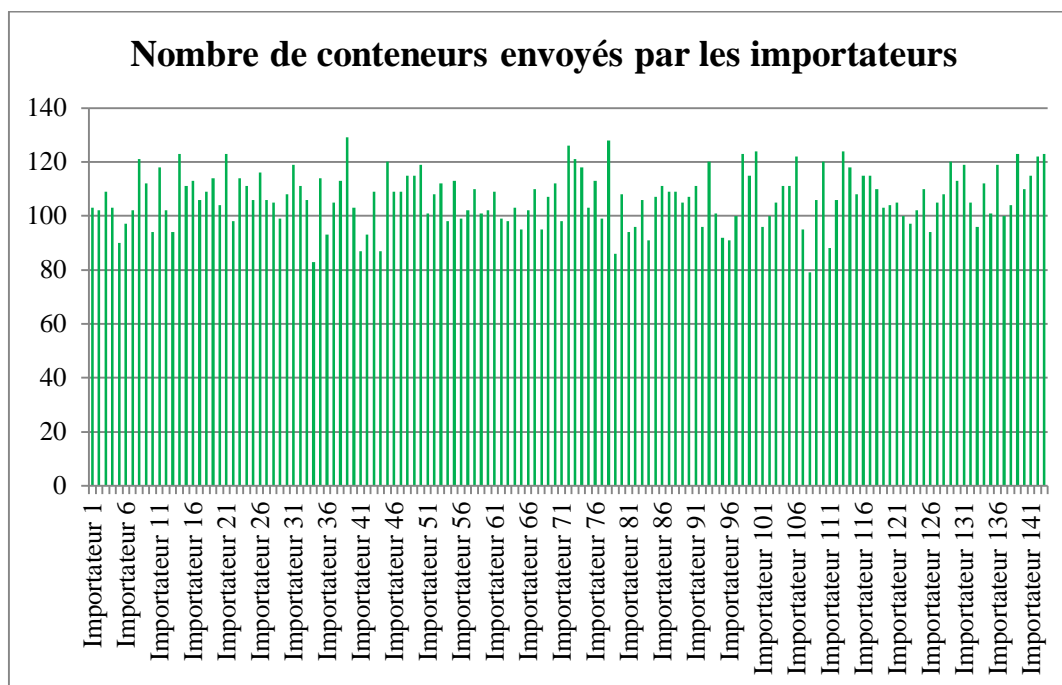


Figure 4.1 : Nombre de conteneurs envoyés par les importateurs pour le dépôt 1

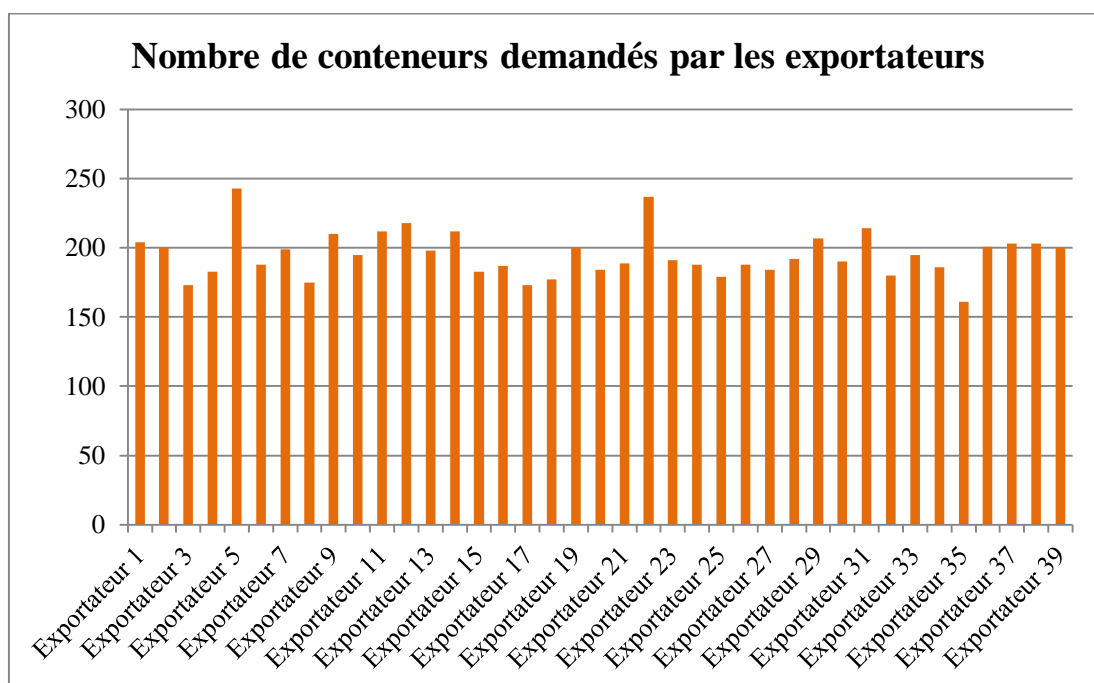


Figure 4.2 : Nombre de conteneurs demandés par les exportateurs pour le dépôt 1

## 4.4 Conclusion

La comparaison des deux scénarios démontre sans ambiguïté la supériorité du scénario 2. Comme il a été vu dans la littérature, la stratégie « street-turns » domine. Nous la recommandons lors du déploiement des  $\pi$ -conteneurs.

## CHAPITRE 5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Dans ce travail, les deux stratégies de la gestion de retours des conteneurs vides ont été identifiées et analysées. Selon la revue de la littérature, deux modèles conceptuels sont proposés pour différents niveaux de repositionnement des conteneurs. Le premier modèle présente le repositionnement global des conteneurs vides et le deuxième modèle présente le repositionnement régional des conteneurs vides. À l'étape suivante, les différentes parties des modèles comme le niveau de planification, le niveau des questions de modélisation et leurs paramètres de décision sont inventoriées.

Il a été analysé de façon plus détaillée treize articles qui proposent des modèles pour la gestion des conteneurs vides. Les décisions de planification aux différents niveaux sont expliquées avec des exemples tirés de ces articles. Deux stratégies courantes et utilisables pour le repositionnement des conteneurs vides au niveau régional ont été retenues et elles ont été simulées et comparées.

L'objectif des simulations est de minimiser le coût total et la distance parcourue du système prévu dans le repositionnement régional des conteneurs vides sur un horizon de temps d'un an dans chaque scénario. Le coût total comprend le coût de transport, le coût de manutention et le coût d'entreposage.

Les données réelles de 1997 à 2007 du port New York et New Jersey et le nombre d'entreprises existantes comme les importateurs et les exportateurs ont été utilisés pour faire la simulation tirées de la thèse de Mittal (2008). Après avoir simulé les deux scénarios, les résultats des scénarios sont comparés selon les indicateurs de performance prédéfinis. Comme il a été indiqué dans le tableau des résultats, une réduction de 40 % du coût total et une réduction de 48 % de la distance parcourue des camions dans le deuxième scénario sont observées. Selon l'analyse de sensibilité de capacité des dépôts, la capacité de 15 000 a été retenue afin d'avoir un taux de succès de livraison des conteneurs vides à temps aux expéditeurs.

Le réseau de transport du deuxième modèle a été optimisé grâce à l'élimination des trajets inutiles et l'élimination des stocks non nécessaires. Parce que dans le réseau initial il y a des mouvements inutiles. En utilisant le trajet direct des importateurs aux exportateurs, deux trajets inutiles sont éliminés dans la plupart du temps. Comme les résultats le démontrent, on a des meilleurs trajets et des meilleurs stocks avec le deuxième scénario. Ainsi, nous proposons l'utilisation de la stratégie

du deuxième scénario pour la gestion des retours et le repositionnement régional des conteneurs vides dans le concept de l'Internet Physique afin de minimiser les distances parcourues des camions et du coup les émissions de CO<sub>2</sub> et les coûts de transport. La gestion des retours des conteneurs avec la stratégie « street turns » et la stratégie collaborative nécessite l'existence d'un système de coordination pour suivre la localisation des conteneurs, leurs états et les besoins en conteneurs vides.

Quelques difficultés ont été rencontrées durant cette recherche.

- Trouver les données réelles et les plus récentes qui soient adaptées pour faire la simulation.
- Définir dans le logiciel Arena le grand nombre d'importateurs (3000) et d'exportateurs (800) des données utilisées pour faire la simulation.
- Définir les lieux géographiques et les distances réelles entre les différents nœuds du réseau simulé.

### **Recommandations pour des travaux futurs**

Les modèles sont à évaluer avec des données réelles de l'offre et de la demande et du coût de transport de différentes régions. Certaines suggestions pour des travaux de recherche futurs seraient :

- la gestion intégrée des deux flux des conteneurs chargés et vides ;
- la gestion de retour des conteneurs d'autres types et non seulement des conteneurs maritimes ;
- la résolution du problème avec d'autres approches alternatives comme la programmation heuristique ;
- la résolution du problème en considérant les aspects stochastiques pour les fonctions des offres, des demandes et des coûts ;
- la résolution du problème en considérant d'autres horizons de planification.

Au niveau global, la plupart des recherches ont étudié les opérations optimales d'une seule compagnie maritime. Les recherches futures pourraient identifier les opportunités de la stratégie coopérative entre des compagnies maritimes. En plus, les décisions de repositionnement global vont, évidemment, avoir un impact sur les décisions qui seront prises au niveau régional comme le

nombre de conteneurs vides disponible au port. Donc les recherches futures pourraient étudier l'interdépendance des deux problèmes.

## BIBLIOGRAPHIE

- Boile, M., Mittal, N., Golias, M., & Theofanis, S. (2006). *Empty marine container management: addressing a global problem locally*. Communication présentée à Transportation Research Board 85th Annual Meeting.
- Boile, M., Theofanis, S., Baveja, A., & Mittal, N. (2008). Regional repositioning of empty containers: Case for inland depots. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2066(1), 31-40.
- Braekers, K., Janssens, G. K., & Caris, A. (2011). Challenges in managing empty container movements at multiple planning levels. *Transport Reviews*, 31(6), 681-708.
- Branch, A. E. (2006). *Export practice and management*. London: Cengage Learning EMEA.
- Chang, H., Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2006). *Empty container reuse in the Los Angeles/Long Beach port area*. Communication présentée à METRANS national urban freight conference, Long Beach (p. 1-3).
- Choong, S. T., Cole, M. H., & Kutanoglu, E. (2002). Empty container management for intermodal transportation networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 38(6), 423-438.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Dejax, P. (1993). Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations research*, 41(1), 102-126.
- Crainic, T. G., & Laporte, G. (1997). Planning models for freight transportation. *European journal of operational research*, 97(3), 409-438.
- Dang, Q.-V., Yun, W.-Y., & Kopfer, H. (2012). Positioning empty containers under dependent demand process. *Computers & Industrial Engineering*, 62(3), 708-715.
- Deidda, L., Di Francesco, M., Olivo, A., & Zuddas, P. (2008). Implementing the street-turn strategy by an optimization model. *Maritime Policy & Management*, 35(5), 503-516.
- Dejax, P. J., & Crainic, T. G. (1987). Survey paper-a review of empty flows and fleet management models in freight transportation. *Transportation Science*, 21(4), 227-248.
- Di Francesco, M., Crainic, T. G., & Zuddas, P. (2009). The effect of multi-scenario policies on empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(5), 758-770.
- Façanha, C., Menendez, M., Turner, E., Yin, H., & Zhang, Y. (2003). Repositioning of Empty Containers in the Transpacific Market. *Report CE*, 258.
- Furió, S., Andrés, C., Adenso-Díaz, B., & Lozano, S. (2013). Optimization of empty container movements using street-turn: Application to Valencia hinterland. *Computers & Industrial Engineering*, 66(4), 909-917.
- Goldsby, T. J., & Closs, D. J. (2000). Using activity-based costing to reengineer the reverse logistics channel. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(6), 500-514.

- He, P. (2013). *Optimization of Empty Container Allocation in Depots with the Participation of Freight Forwarders*. Communication présentée à Fourth International Conference on Transportation Engineering.
- Huth, T., & Mattfeld, D. C. (2008). Integration of routing and resource allocation in dynamic logistic networks. Dans *Dynamics in Logistics* (p. 85-93): Springer.
- Ioannou, P. A., Chassiakos, A., Jula, H., Chang, H., & Valencia, G. (2006). *Development of Methods for Handling Empty Containers with Applications in the Los Angeles/Long Beach Port Area*. METRANS Transportation Center Long Beach, CA.
- Konings, R., & Thijs, R. (2001). Foldable containers: a new perspective on reducing container-repositioning costs. *European journal of transport and infrastructure research EJTIR*, 1 (4).
- Kroon, L., & Vrijens, G. (1995). Returnable containers: an example of reverse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 25(2), 56-68.
- Lei, T. L., & Church, R. L. (2011). Locating short-term empty-container storage facilities to support port operations: A user optimal approach. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(5), 738-754.
- Long, Y., Lee, L. H., Chew, E. P., Luo, Y., Shao, J., Senguta, A., & Chua, S. M. (2013). OPERATION PLANNING FOR MARITIME EMPTY CONTAINER REPOSITIONING. *International Journal of Industrial Engineering*, 20.
- Lützenbauer, M. (1993). *Mehrwegsysteme für transportverpackungen (systems for returnable transport packaging)*. Frankfurt am Main.
- Mittal, N. (2008). *Regional empty marine container management*. (Ph.D. , The State University of New Jersey, New Brunswick, New Jersey).
- Montreuil, B. (2011). Toward a Physical Internet: meeting the global logistics sustainability grand challenge. *Logistics Research*, 3(2-3), 71-87.
- Shintani, K., Imai, A., Nishimura, E., & Papadimitriou, S. (2007). The container shipping network design problem with empty container repositioning. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(1), 39-59.
- Song, D.-P., & Dong, J.-X. (2011). Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports. *Transport Policy*, 18(1), 92-101.
- Sterzik, S., Kopfer, H., & Yun, W.-Y. (2015). Reducing hinterland transportation costs through container sharing. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 27(2-3), 382-402.
- Theofanis, S., & Boile, M. (2009). Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies. *GeoJournal*, 74(1), 51-65.
- Vojdani, N., Lootz, F., & Rösner, R. (2013). Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach. *Maritime Economics & Logistics*, 15(4), 467-493.
- Xu, J., Notteboom, T., Dong, J.-X., Xu, J., & Song, D.-P. (2013). Assessment of empty container repositioning policies in maritime transport. *The International Journal of Logistics Management*, 24(1), 49-72.

- Yun, W. Y., Lee, Y. M., & Choi, Y. S. (2011). Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 451-457.
- Zhang, R., Yun, W. Y., & Kopfer, H. (2010). Heuristic-based truck scheduling for inland container transportation. *OR spectrum*, 32(3), 787-808.
- Zhang, R., Yun, W. Y., & Moon, I. (2009). A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(6), 904-914.
- Zhang, Y., & Facanha, C. (2014). Strategic planning of empty container repositioning in the transpacific market: a case study. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 17(5), 420-439.



## ANNEXES

### ANNEXE A - PRINCIPAUX ARTICLES SUR LA GESTION DES RETOURS DES CONTENEURS

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif	Location considérée	Expériences
Assessment of empty container repositioning policies in maritime transport	Xu et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts opérationnels	Non	3 compagnies maritimes
Effectiveness of an empty container repositioning policy with flexible destination ports	Song et Dong (2011)	Compagnies de transport maritime	Heuristique, simulation, modélisation stochastique	Tactique	Global	20 pieds	Réduire les coûts totaux (Coûts d'inventaire, coûts de pénalité de pertes ventes, coûts de manutention et coûts de transport)	Oui	1 compagnies maritimes, 6 ports (4 européens et 2 américains)
Strategic planning of empty container repositioning in the transpacific market: a case study	Zhang, Y. et Facanha (2014)	Compagnie de transport maritime et terminal ferroviaire	Modélisation stochastique	Stratégique	Régional	20/40/45 pieds	Réduire les coûts (des coûts de transport, de manutention, d'inventaire et de terminal)	Non	Les ports de « East Coast » et « West Coast » des États-unis
Operation planning for maritime empty container repositioning	Long et al. (2013)	Compagnies de transport maritime	Modèle d'optimisation	Opérationnel	Global	Plusieurs types	Réduire le coût	Oui	L'expérimentation numérique est présentée basée sur les services actuels d'un transporteur maritime (49 ports et 44 services)
Locating short-term empty-container storage facilities to support port operations: A user optimal approach	Lei et Church (2011)	Compagnies de transport maritime et d'entreprises camionnages	Modélisation stochastique	Stratégique	Global	40 pieds	Réduire le parcours total	Non	Les complexes portuaires de Los Angeles et de Long Beach
Optimizing empty container logistics based on a collaborative network approach	Vojdani et al. (2013)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Modélisation déterministe et simulation	Stratégique	Global et régional	20 pieds	Réduire les coûts de remplacement, d'entreposage, de transport, de manutention et de location	Oui	Étude de cas de 3 transporteurs et 1 entreprise de location dans 2 scénarios entre 8-9 ports

Article	Auteurs	Maillons de la chaîne	Outils de mathématiques	Niveau de décision	Type de remplacement	Type de conteneurs	Objectif	Location considérée	Expériences
Empty marine container logistics: facts, issues and management strategies	Theofanis et Boile (2009)	Compagnies de transport maritime et des compagnies de location	Analyse	Stratégique	Global	20/40 pieds	Réduire le coût	Oui	Appliqué au port de New York
Optimal inventory control of empty containers in inland transportation system	Yun et al. (2011)	Transporteurs de barges, de camionnages et ferroviaires	Simulation	tactique	Régional	40 pieds	Réduire les coûts de remplacement et de location	Oui	Exemples numériques sont considérés
Optimization of empty container movements using street-turn: Application to Valencia hinterland	Furió et al. (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs et exportateurs	Modélisation déterministe et DSS	Opérationnel	Global et régional	40 pieds	Réduire le parcours	Oui	Le modèle est examiné avec des données réelles basées sur des opérations de port de Valencia
Optimization of empty container allocation in depot with the participation of freight forwarder	He (2013)	Transporteurs maritimes, importateurs, exportateurs et transitaires	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	40 pieds	Réduire le coût et le parcours	Non	Le modèle est appliqué à terminal Qingdao Qianwan et 50 dépôts environnent le terminal
Positioning empty containers under dependent demand process	Dang et al. (2012)	Dépôts	Modèle heuristique	Tactique	Global et régional	40 pieds	Réduire le coût	Oui	Calculs numériques sont menés
Empty container management for intermodal transportation networks	Choong et al. (2002)	Transporteurs de barges, de camionnage et ferroviaires	Modèle d'optimisation	Tactique	Régional	20 pieds	Réduire le coût	Oui	3 cas de pool de conteneurs
Reducing hinterland transportation costs through container sharing	Sterzik et al. (2015)	Compagnies de camionnage	Modèles mathématiques de recherche tabou heuristiques	Stratégique et opérationnel	Régional	40 pieds	Réduire les coûts d'exécutions totales	Oui	2 compagnies de camionnage, 2 terminaux, plusieurs dépôts, un certain nombre de clients

## ANNEXE B - FIGURES DES DIAGRAMMES DE SIMULATION DANS ARENA

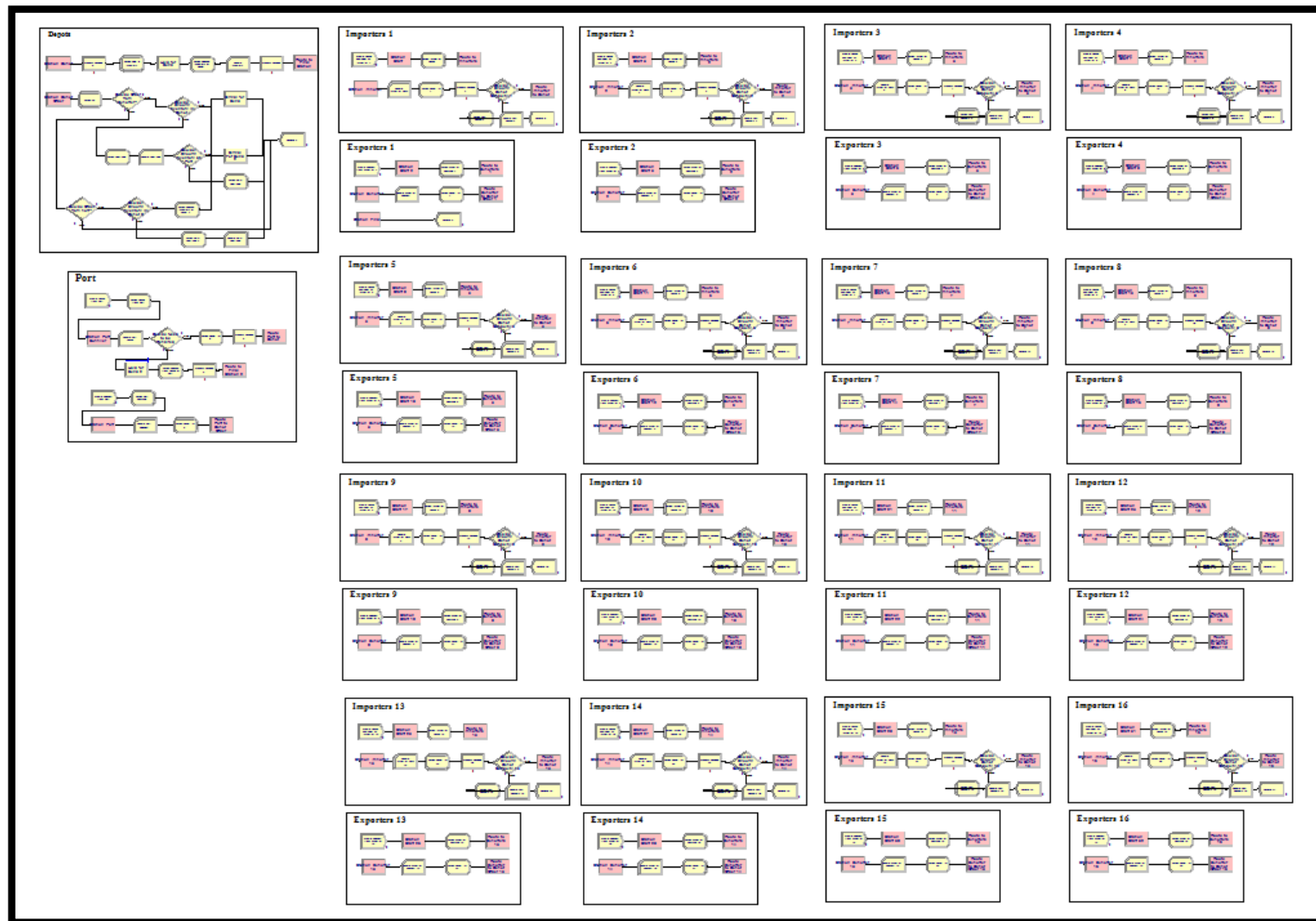


Figure du diagramme complet de simulation du scénario 1

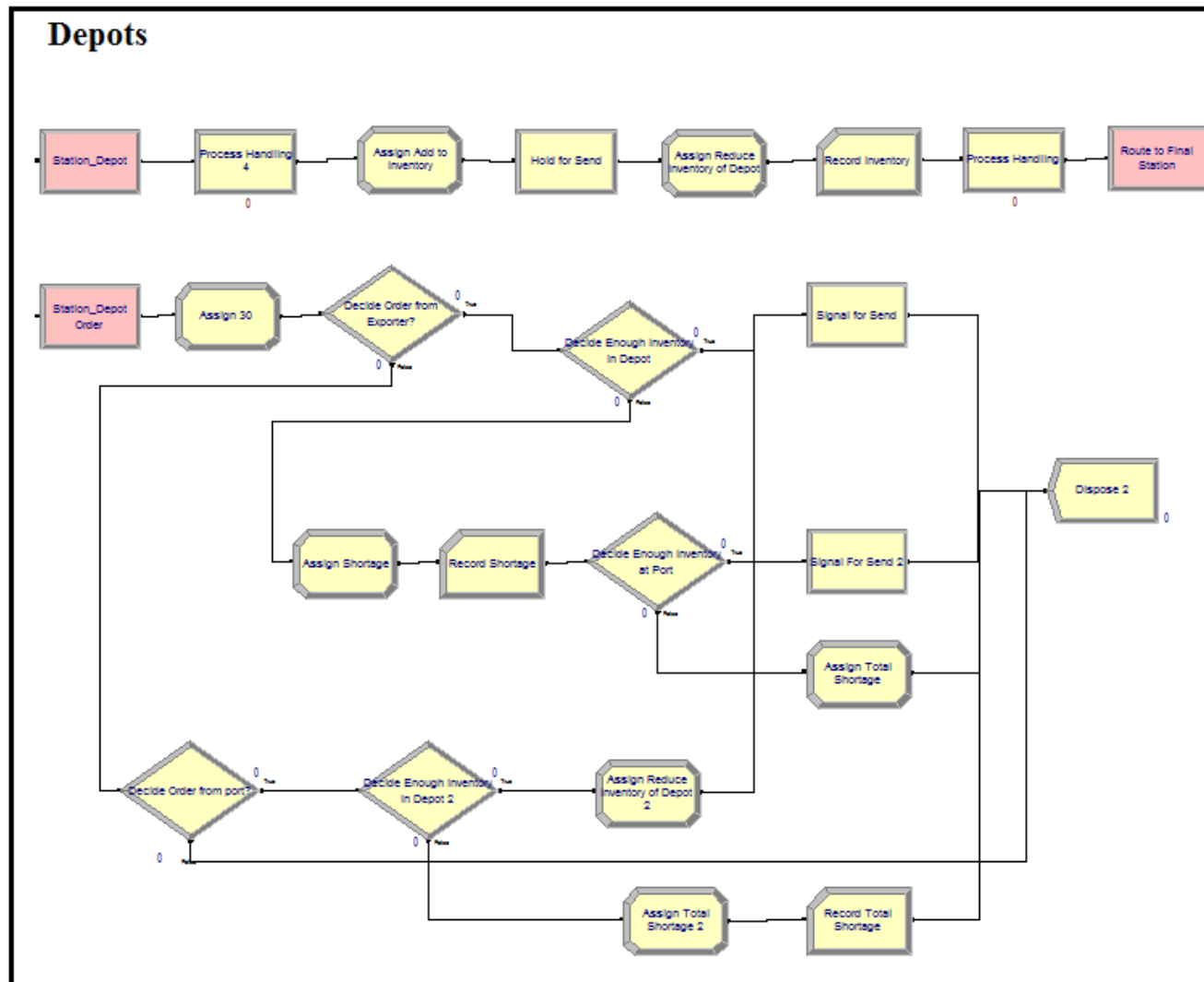


Figure du diagramme du dépôt de la simulation du scénario 1

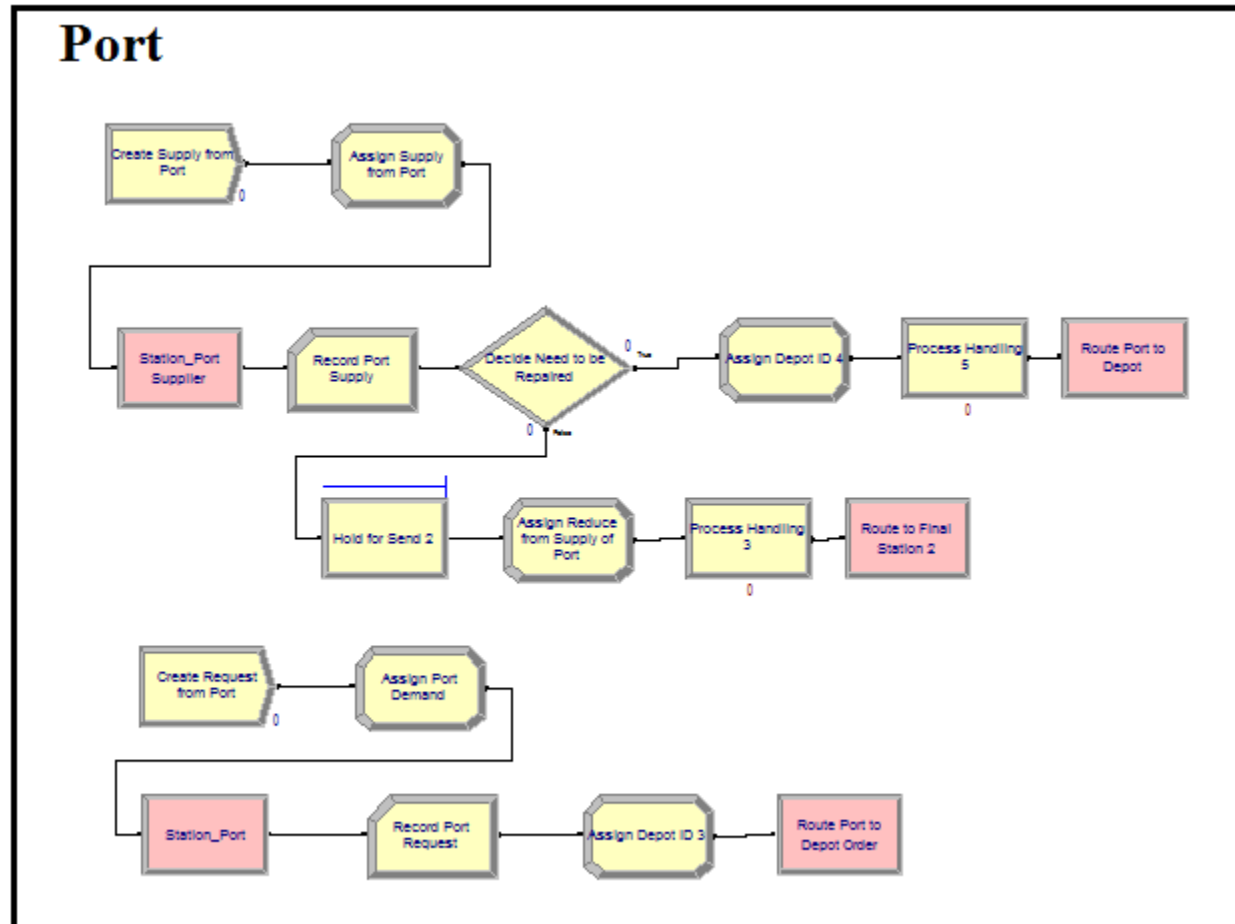


Figure du diagramme du port de la simulation du scénario 1

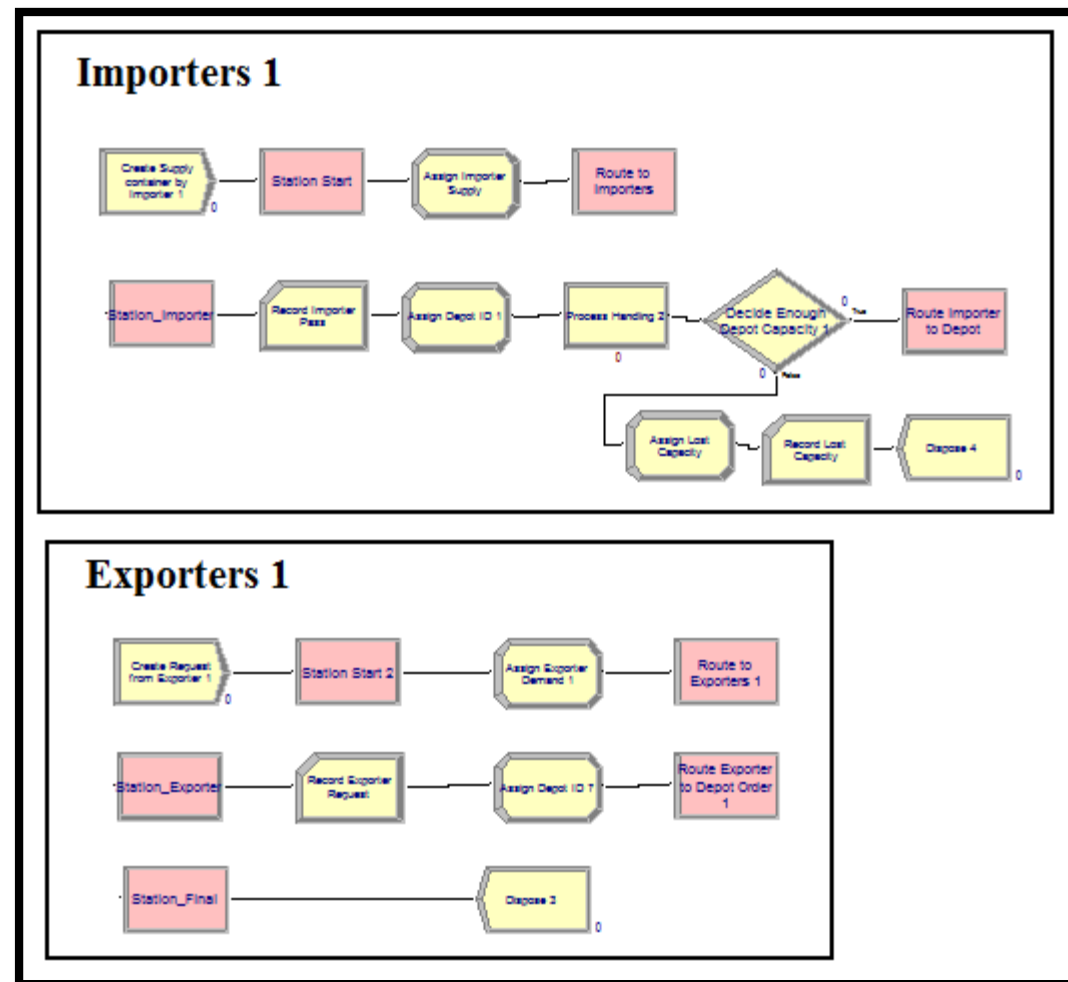


Figure du diagramme d'un groupe d'importateurs et d'exportateurs de la simulation du scénario 1

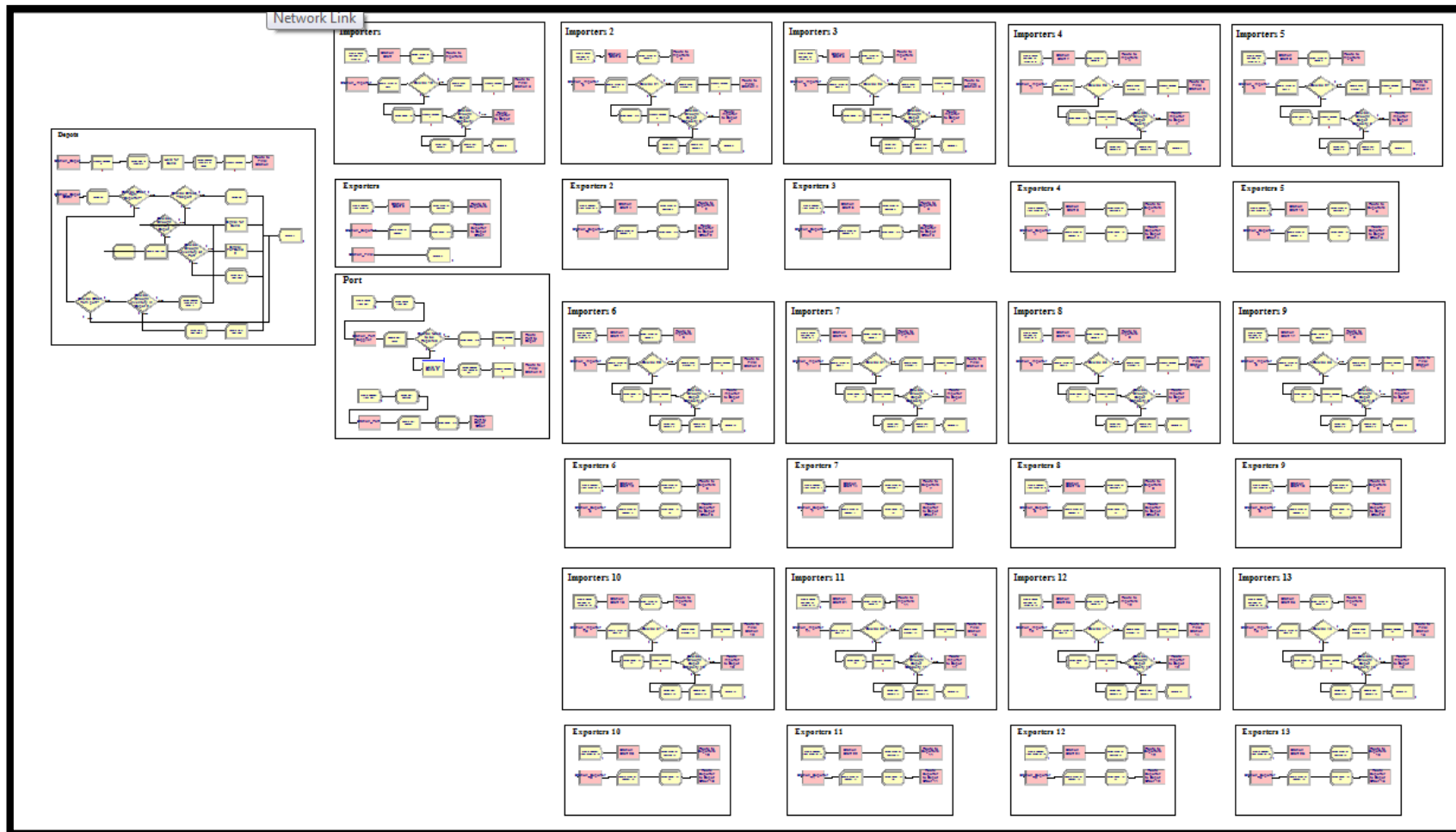


Figure du diagramme de simulation du scénario 2

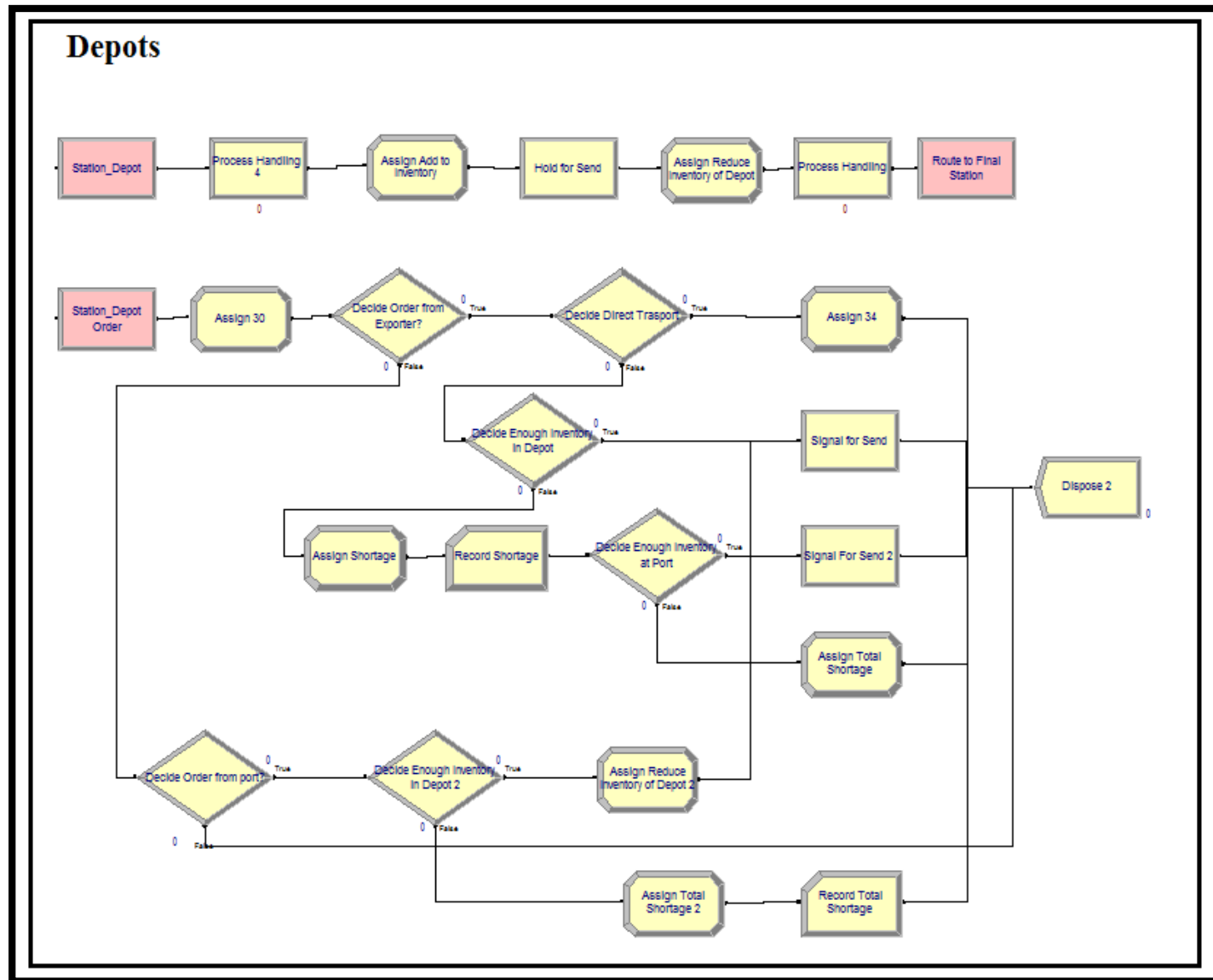


Figure du diagramme du dépôt de la simulation du scénario 2



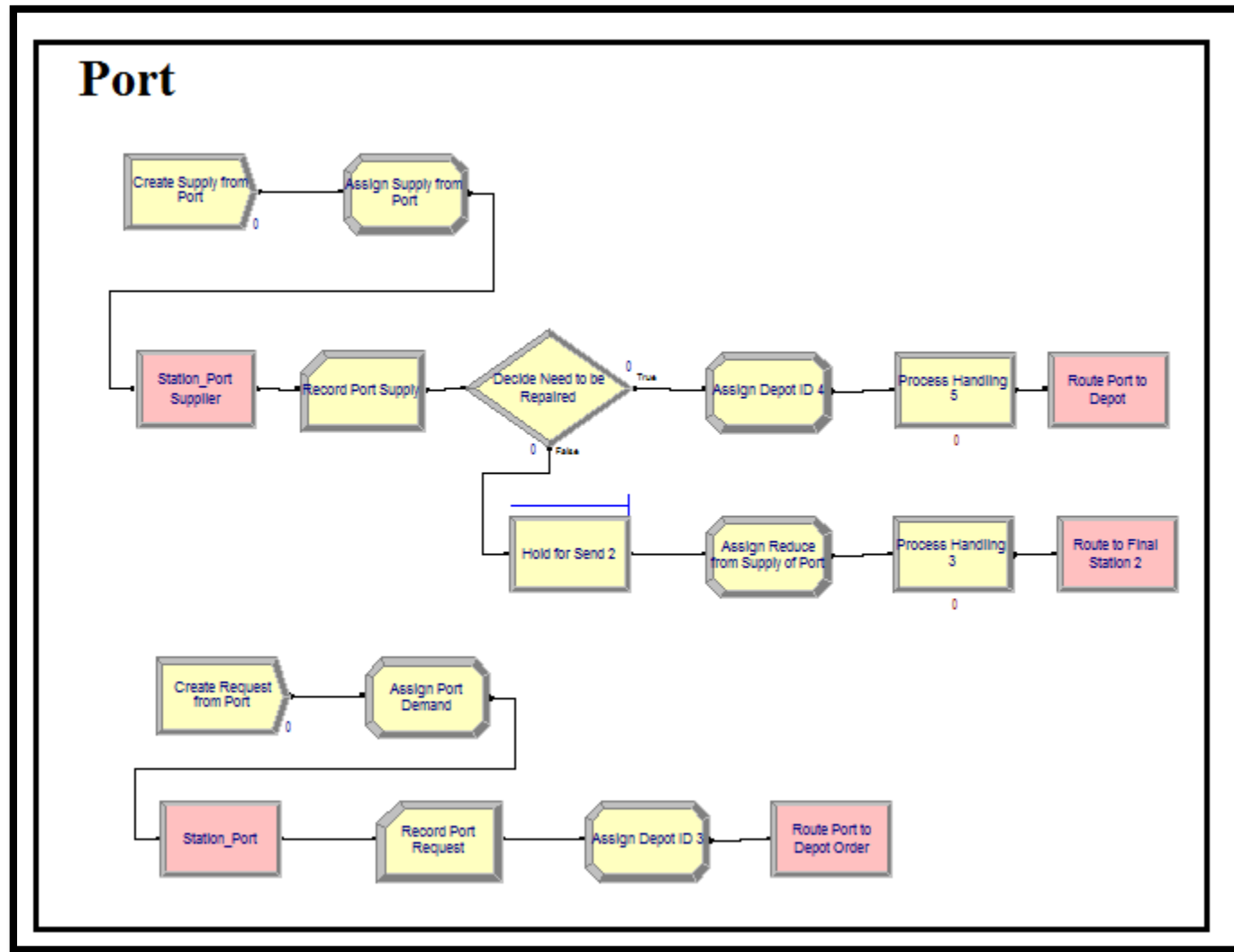


Figure du diagramme du port de la simulation du scénario 2

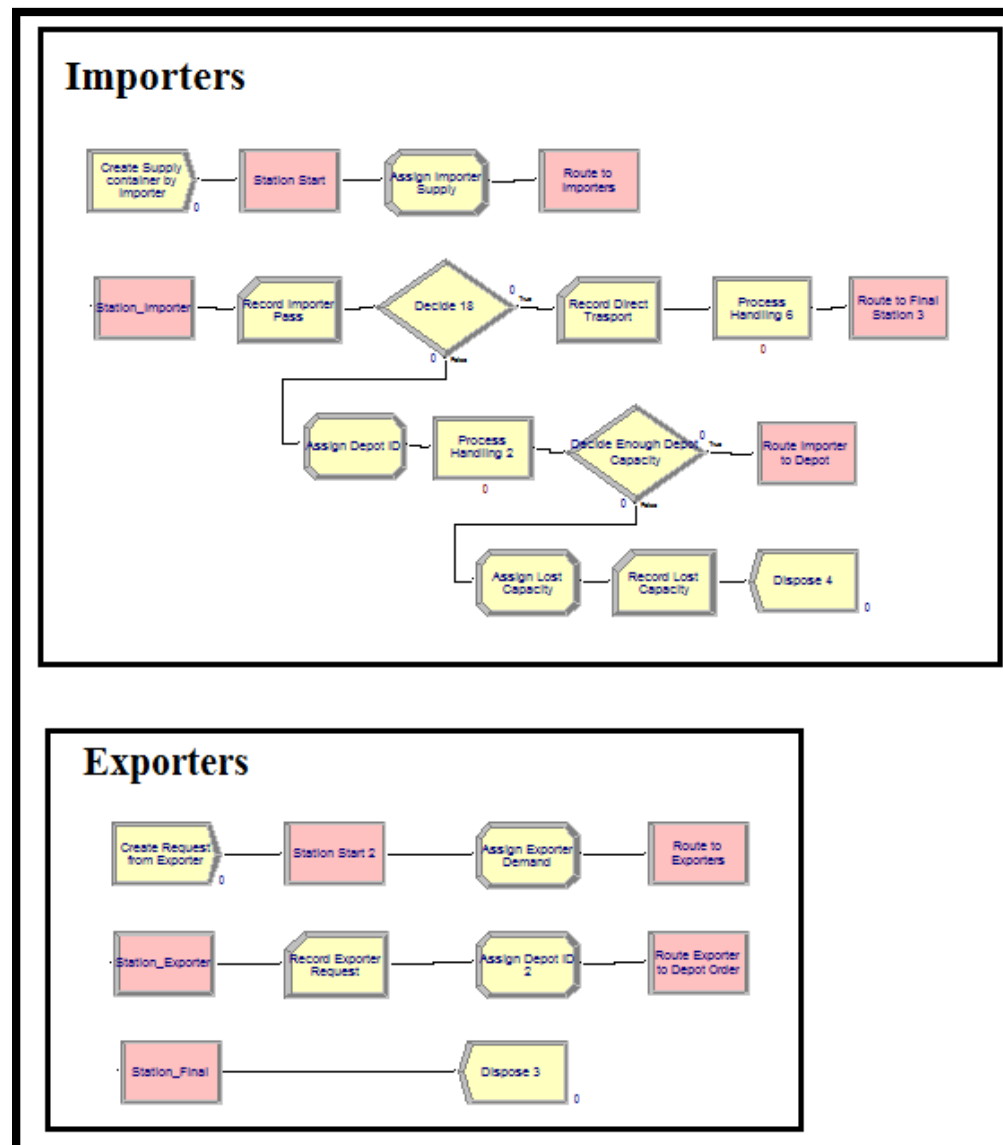


Figure du diagramme d'un groupe d'importateurs et d'exportateurs de simulation de scénario 2